

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra automatizační techniky a řízení

Integrace výrobní inteligence do řízení procesů

Disertační práce

Studijní program:	P2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	3902V056 Řízení strojů a procesů
Školitel:	doc. Ing. Lenka Landryová, CSc.
Doktorand:	Ing. Jiří Holík

Ostrava, 2018

Anotace disertační práce:

HOLÍK, Jiří.

Integrace výrobní inteligence do řízení procesů, Katedra automatizační techniky a řízení, Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava, 103 stran, 46 obrázků, 15 tabulek, 1 příloha. Školitel: doc. Ing. Lenka Landryová, CSc.

Disertační práce je zaměřena na návrh a vývoj metody práce s využitím simulačních metod a integrace výrobní inteligence pro řízení, vyhodnocování a také plánování systémů výrobní a zásobovací logistiky. Důvodem vytvoření výsledku práce je také jeho uplatnitelnost z pohledu možnosti řešit komplexně zadanou úlohu a také rychlost s jakou simulační metody pracují. Obsah práce lze významově rozdělit do dvou základních fází, kde první tvoří teoretická část a druhou část praktická.

Teoretická rovina práce mapuje v současnosti možné přístupy k řešení komplexních úloh z oblasti výrobní a zásobovací logistiky, počínaje analytickými metodami přes podobnost se složitějšími úlohami vědního oboru operační analýza až po simulační přístupy. V rámci této části jsou nejprve specifikovány klíčové ukazatele pro definici zkoumaného systému vycházející z logistického controllingu, které jsou poté doplněny o metody získávání těchto dat a závěrem teoretické části je doporučeno využití simulačních metod pro řešení těchto komplexních úloh.

Praktickou část práce uvozuje volba simulačního nástroje Witness, přiblížení jeho stěžejních funkčních elementů a dvojice demonstračních příkladů. Oba si kladou za cíl ověřit způsob zadávání všech klíčových ukazatelů zkoumaného systému do simulačního modelu. Vytvořená metoda práce, jež je založena na parametrizovatelném simulačním modelu pro řešení úloh výrobní a zásobovací logistiky je závěrem praktické části zasazena do otevřeného cloudového prostředí v duchu průmyslu 4.0.

Nedílným elementem disertační práce je seznámení uživatele s vytvořeným výsledkem práce, doporučení pro oblast teorie a praxe při řešení komplexních úloh výrobní a zásobovací logistiky a sumarizující závěr.

Klíčová slova:

Simulace, logistika, modelování, Witness, simulační model, cloud

Annotation of Dissertation Thesis:

HOLÍK, Jiří.

Manufacturing Intelligence in Process Control, Department of Control Systems and Instrumentation, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB-TU Ostrava, 103 pages, 46 figures, 15 tables, 1 supplement. Tutor: doc. Ing. Lenka Landryová, CSc.

The dissertation is focused on design and development of the method of work using simulation methods and integration of control system intelligence with evaluation and planning of production and supply logistics systems. The motivation for developing the thesis results is the applicability for a complex defined task and the speed with which the simulation methods work. The content of the thesis can be divided into two main parts, where the first one is the theoretical base and the second part is practical.

The theoretical level of thesis is mapping currently available approaches to solving complex tasks from the area of production and supply logistics chains, starting with analytical methods, throughout similarity with more complex tasks of the operational analysis field, up to the simulation approaches. Within this part the key indicators of the researched system definition originated in logistic controlling are first specified and then supplemented by methods of obtaining data. The conclusion of a theoretical part is a list of recommended simulation methods to be used for solving these complex tasks.

The practical part of the thesis begins by selecting the Witness simulation tool, the specification of its main building elements and the pair of demonstration examples. Both of theirs aim is to verify the way for the entering of all the key indicators to created simulation model. Proposed working method, according to the parametrical simulation model for solving the problems of the production and supply logistics, concludes the practical part embedded in an open cloud environment according to the concept of Industry 4.0.

An integral part of the dissertation is providing information about results of work from the user point of view, the recommendations for the community of theory and practice when solving the complex tasks of production and supply logistics and a summarizing conclusion.

Key words:

Simulation, Logistics, Modelling, Witness, simulation model, cloud

Obsah

1	Seznam použitého značení, symbolů a zkratk	6
2	Úvod	9
3	Analýza současného stavu metod	11
4	Cíle disertační práce	13
5	Teoretický rozbor problematiky	14
5.1	Teorie grafů	14
5.2	Ganttovy diagramy	16
5.3	Matematická statistika	18
5.3.1	Teorie pravděpodobnosti	18
5.3.2	Zpracování náhodného výběru	18
5.3.3	Teorie odhadu	21
5.3.4	Testování statistických hypotéz – testování parametrů	22
5.3.5	Testování statistických hypotéz – testování tvarů rozdělení	24
5.3.6	Markovovy řetězce	25
5.3.7	Poissonovo a Exponenciální rozdělení	26
5.3.8	Vybrané systémy teorie hromadné obsluhy	27
5.3.9	Analytické řešení SHO	28
5.4	Softwarová simulace	31
5.4.1	Simulační software	32
5.4.2	Simulační software Arena	32
5.4.3	Simulační software Simul8	33
5.4.4	Simulační software Plant Simulation	34
5.4.5	Simulační software Witness	35
5.5	Teorie technik o sběru dat pro potřeby simulačních modelů	36
5.5.1	Pozorování	38
5.5.2	Měření práce	39
5.5.3	Analýza dokumentů, dat z minulosti	43
5.5.4	Dotazování	44
6	Volba simulačního nástroje	45
6.1	Adaptabilita simulačního nástroje	45
6.2	Základní prvky simulačního nástroje Witness	45
6.2.1	Stroj (machine)	46
6.2.2	Součástka (part)	47
6.2.3	Zásobník (buffer)	48

6.2.4	Pracovník (labor)	49
6.2.5	Vozík (vehicle).....	50
6.2.6	Trať (track).....	51
6.2.7	Dopravník (conveyor)	53
7	Experimentální část práce	56
7.1	Simulační model systému hromadné obsluhy	56
7.1.1	Vstupní tok zákazníků.....	56
7.1.2	Fronta zákazníků čekajících na obsluhu	57
7.1.3	Obslužné linky.....	58
7.1.4	Obsloužení zákazníci.....	58
7.1.5	Získávání výstupních charakteristik.....	58
7.1.6	Přidaná hodnota pro tuto práci.....	59
7.2	Simulační model přepravy mezi body síťového grafu	59
7.2.1	Stavba dopravní sítě	60
7.2.2	Charakteristické údaje jízdy, nakládky a vykládky.....	65
8	Parametrizovatelný simulační model procesu výrobní a zásobovací logistiky	68
8.1	Metoda práce se simulačním modelem	68
8.2	Přihlášení do systému.....	69
8.2.1	Definice nového experimentu	70
8.2.2	Editace stávajícího experimentu	71
8.3	Definice rozsahových parametrů experimentu.....	72
8.4	Dělení manipulačních zařízení do skupin	73
8.5	Rychlostní parametry manipulační techniky	74
8.6	Časové parametry nakládky a vykládky.....	75
8.7	Zdroje požadavků na přepravu.....	76
8.8	Směnnost zdrojů požadavků na přepravu.....	77
8.9	Parametry cílových destinací pro zdroje požadavků na přepravu	79
8.10	Vzdálenosti použitých relací v rámci simulačního experimentu	80
8.11	Nákladové parametry, poruchovost a údržba manipulační techniky	81
8.11.1	Nákladové parametry přepravy.....	81
8.11.2	Poruchovost manipulační techniky	82
8.11.3	Údržba manipulační techniky	83
8.12	Kompilace a start simulačního experimentu.....	83
8.13	Souhrnné statistiky simulačního experimentu	85
8.14	Detailní statistiky simulačního experimentu	86
8.15	Práce s výstupy simulačního experimentu	91

9	Závěr	92
9.1	Přínos pro vědní obor	94
9.2	Přínos pro praxi	94
9.3	Doporučení na další výzkum.....	94
10	Conclusions.....	95
10.1	Contribution for scientific discipline	97
10.2	Contribution for practice.....	97
10.3	Recommendation for further research	97
11	Použitá literatura.....	98
12	Vlastní publikace k tématu disertační práce	102
13	Seznam příloh.....	103

1 Seznam použitého značení, symbolů a zkratek

ZNAČKA	VÝZNAM	JEDNOTKA
CPM	Metoda kritické cesty	-
FIFO	Frontový režim, kdy první přijde a jako první odejde (First in, First out)	-
CHIINV	Název funkce MS Excel pro výpočet kritické hodnoty Pearsonova testu	-
JIT	Režim dosažení cíle právě v čas z anglického Just In Time	-
LIFO	Frontový režim, kdy poslední přijde a jako první odejde (Last in, First out)	-
MOST	Metoda pro stanovování norem práce z anglického Maynard Operation Sequence Technique	-
MTM	Metody měření času z anglického Methods Time Measurement	-
MTM-2	Systém metod měření času	-
MTM-3	Systém metod měření času	-
MTM-MEK	Systém metod měření času z Německa	-
MTM-UAS	Systém metod měření času	-
MTM-V	Systém metod měření času	-
N	Index elementu, ve kterém jsou akce či pravidla vytvořena	-
PLM	Softwarová divize společnosti Siemens zabývající se procesní simulací	-
PMTS	Systém předem určených pohybových časů	-
PULL	Vstupní tahové pravidlo simulačního software Witness	-
PUSH	Výstupní tlačné pravidlo simulačního software Witness	-
SHO	Systém hromadné obsluhy	-
TMU	Univerzální časová jednotka z anglického Time Measurement Unit	-
A, B	Meze krabicového grafu	-
c_n	Náklady na čekání jednoho požadavku na obsluhu v SHO	Finanční jednotky
c_z	Ztráta plynoucí z nevyužití obslužného kanálu SHO	Finanční jednotky
$d_G(v)$	Stupeň vrcholu v v grafu G	-
$D^2(X)$	Rozptyl náhodného výběru	-
E	Množina hran grafu	-
e, e_i	Hrana, hrana s indexem i náležící do množiny hran E	-
EK	Střední počet zákazníků v systému	-
EL	Střední počet zákazníků ve frontě	-
ER	Střední doba pobytu zákazníka v systému	-
ES	Střední počet zákazníků v obsluze	-

EW	Střední doba čekání zákazníka ve frontě	-
$E[T]$	Střední hodnota náhodného výběru označeného T	-
F_i	Relativní kumulativní četnost prvku s indexem i v dané množině	-
F_k	Relativní kumulativní četnost všech jednoznačných prvků v množině	-
$F_0(x)$	Hodnota distribuční funkce náhodného výběru	-
G	Označení grafu	-
H_0	Nulová hypotéza	-
H_1	Alternativní hypotéza	-
h	Počet odhadovaných parametrů	-
$ H $	Velikost množiny hran neboli počet hran v grafu	-
i	Index prvků v množině nebo index stavu Markovova systému	-
j	Index stavu Markovova systému	-
IRQ, QR	Interkvartilové rozpětí	-
k	Počet jednoznačných prvků v množině	-
k	Počet tříd výběrového souboru	-
m_i	Kumulativní četnost prvku s indexem i v množině	-
Mod	Modus	-
n	Celkový počet prvků v množině	-
N_f	Průměrná délka fronty u SHO připouštějícím frontu	-
n_i	Absolutní četnost výskytu prvku s indexem i v množině	-
$o(\Delta t)$	Pravděpodobnost výskytu jevu v krátkém časovém okamžiku Δt	-
$P(x)$	Pravděpodobnost, s jakou náhodná veličina X nabyde hodnoty x	-
p_i	Relativní četnost prvku s indexem i v množině	-
P_{ij}	Pravděpodobnost přechodu ze stavu i do stavu j	-
P_{odm}	Pravděpodobnost odmítnutí zákazníka po příchodu do SHO	-
$p - value$	Testovaný parametr populace při testování statistické hypotézy	-
R	Množina reálných čísel	-
S	Množina stavů Markovova systému	-
S_n	Stav Markovova systému s indexem n	-
S_{n+1}	Stav Markovova systému následující po stavu S_n	-
s	Směrodatná odchylka výběrového souboru	-
s^2	Výběrový rozptyl	-
$st(v_i)$	Stupeň vrcholu v s indexem i	-
T	Množina náhodných proměnných	-

t	Časový okamžik	s
T_D	Dolní mez náhodného výběru T	-
T_H	Horní mez náhodného výběru T	-
$T(\underline{X})$	Testové kritérium při testování statistické hypotézy	-
U	Průměrný počet nevyužitých zařízení obsluhy v SHO	-
u	Vrchol náležící do množiny vrcholů V	-
V	Množina vrcholů grafu	-
v	Počet stupňů volnosti	-
v, v_i	Vrchol, vrchol s indexem i náležící do množiny vrcholů V	-
w	Vrchol náležící do množiny vrcholů V	-
X	Náhodná veličina	-
x	Hodnota náhodné veličiny X	-
x_i	Hodnota pozorování s indexem i	-
x_{OBS}	Kritická neboli hraniční hodnota přijetí nulové hypotézy	-
x_p	Výběrový kvantil pravděpodobnosti p	-
X_1, X_2	Realizace proměnné náhodného výběru	-
\bar{x}	Výběrový průměr	-
$x_{0,25}$	Dolní, 25% kvantil výběrového souboru	-
$x_{0,75}$	Horní, 75% kvantil výběrového souboru	-
z_i	Třídní znak třídy výběrového souboru	-
z_p	Pořadí proměnné při vzestupném řazení	-
α	Hladina významnosti	-
Δt	Krátký časový interval, změna časového intervalu	s
θ	Hledaný parametr náhodného rozdělení	-
κ	Využití systému	%
λ	Střední počet příchozích zákazníků do systému, parametr Poissonova rozdělení pravděpodobnosti	-
μ	Střední hodnota výběrového souboru	-
μ_{ij}	Intenzita pravděpodobnosti přechodu systému ze stavu i do stavu j	-
π_i	Pravděpodobnost jevu i	-
χ_{krit}	Kritická hodnota Pearsonova testu pro daný stupeň volnosti	-
χ^2	Hodnota Pearsonova testu dobré shody	-

2 Úvod

V současných podmínkách konkurenčního boje mezi podniky, jenž je ohraničen legislativou tržního hospodářství, bývají kladeny vysoké nároky na výrobní a zásobovací logistiku, přičemž bývá zdůrazňováno zejména dodržování dohodnutých dodacích časů či lhůt a samotná organizace práce při zásobování více koncových lokací (DANĚK A KŘIVDA 2003).

Výrobní logistika je odbornou literaturou, např. (GROS 1996), definována jako soubor činností s cílem zásobit výrobní proces výrobními prostředky při respektování jejich druhové odlišnosti, požadovaného množství a kvality, a to ve správný čas na určené místo při vynaložení přiměřených nákladů. Její integrální součástí je také zpětné odstranění zbytků či odpadu z výrobního procesu (GROS 1996). V rovině managementu zajišťuje výrobní logistika kontrolu a řízení všech podnikových zásob a jejich pohyb (tok) mezi jednotlivými pracovišti (SCHULTE 1994). Činnost výrobní logistiky bývá v dobře fungujícím podniku plně v souladu se stanovenou strategií logistického plánu. Strategický logistický plán v sobě zahrnuje nejen oblast pochopení podnikové strategie a vnímání potřeb zákazníků ve vazbě na jim poskytovanou úroveň servisu, ale v neposlední řadě také velice důležitou oblast nákladů a rentability jejich vynakládání při znalosti možných alternativ (PERNICA 2005).

V reálném provozu, kde je manipulace mezi výrobními či obslužnými zařízeními zpravidla zajištěna technickými prostředky ovládanými člověkem bez podpory vyššího stupně automatizace, má realizace konkrétních manipulací, které lze charakterizovat obecným slovem *poptávka*, zpravidla v čase nahodilý charakter, viz např. (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982) nebo (DANĚK A KŘIVDA 2003). Periodicita poptávky po manipulaci může být nepravidelná a odráží se ve snížené efektivitě využívání zdrojů z důvodu čekání na její výskyt. Nahodilost bývá zapříčiněna převážně změnami vyráběného sortimentu (změna kvalitativních i kvantitativních požadavků na manipulaci), omezováním výrobní kapacity či počtu manipulačních zařízení, ve snaze snížit logistické náklady za cenu nižší úrovně poskytovaného servisu (GROS 1996), (KONEČNÝ 1999). V takovém případě lze říci, že logistický plán provozu daného výrobního či zásobovacího systému často ustupuje operativnímu řízení (PERNICA 2005), jelikož výskyt konkrétních nahodilostí lze do něj zapracovat pouze v omezené míře. Tyto skutečnosti vedou k úvaze, že je vhodné zabývat se otázkou, jak inteligentně zapracovat zkušenosti získané z reálných dat a reálného provozu do řídicí vrstvy dnes již standardizovaného postupu pro řízení průmyslových procesů a zařízení dle ISA 95 (SCHOLTEN 2007) nebo (BABIUCH A LANDRYOVÁ 2008). V duchu standartu ISA 95 lze konstatovat, že mezera je zejména v neexistenci společného modelu pro integraci mezi vrstvou řízení výrobních procesů (vrstva MOM) a vrstvou podnikových zdrojů (vrstva ERP). Tato skutečnost je způsobeno zejména odlišnou úrovní automatizace, různými technickými prostředky a informační podpory a v neposlední řadě také nerovnovážnými zkušenostmi v řízení těchto procesů.

Tvorba logistického plánu pro systémy výrobní a zásobovací logistiky na strategické úrovni podniku čili na úrovni vrstvy podnikových zdrojů (vrstva ERP), je velice komplexní činnost, při které hraje klíčovou roli především logistický controlling. Principem logistického controllingu je při periodickém vyhodnocování zajistit detailní podklady o reálném procesu výrobní a zásobovací logistiky tak, aby bylo možno vytvořit kvalitní a rentabilní logistický plán provozu řešeného systému pro období budoucí. Mezi klíčové podklady získané pro tyto potřeby z reálného procesu patří: detailní pracovní postupy prováděných manipulací a činností, normativy produktivity technických zařízení a normy produktivity pracovníků, finanční plán a vynaložené náklady na spektrum jednotlivých realizovaných činností a dosažené hodnoty výkonnostních logistických ukazatelů (PERNICA 2001).

Není-li v podniku speciální oddělení, které se této činnosti zřizeno nebo nejsou-li podklady o řešeném logistickém procesu dostatečně detailní, může být problematické vytvářet rentabilní logistický plán pro budoucí období. Zpravidla je tento stav s výjimkou sféry Automotive vysledovatelný. Logistický plán je

zpravidla upravován na základě analýzy předchozího stavu zkoumaného procesu v minulém období, pokud nejde o návrh ještě neexistujícího systému (SIXTA a MACÁT 2005). V takovém případě dochází k využívání zejména znalostí plynoucích z podobnosti již provozovaných systémů či například k využití metod odborného odhadu. Toto řešení však není ideální, a to zejména tehdy, chce-li podnik pružně reagovat na požadavky svých zákazníků.

3 Analýza současného stavu metod

Vědní základ pro oblast řešení úloh výrobní a zásobovací logistiky, jež je předmětem předkládané práce, je možné hledat v charakteristické podobnosti hlavních aspektů cílů práce. Výrobní a zásobovací logistika se vyznačuje intenzivním materiálovým tokem a vynaložením práce strojů či lidí, které pomáhají tento tok uskutečňovat. Mezi historické mezníky v této oblasti lze určitě zahrnout logistiku ve vojenství, která v minulosti dala základ novodobé logistice. Tehdy bylo podstatou nejčastěji přemístit vojsko a materiál (PERNICA 2005). Logistika je v současnosti charakterizována logistickým řetězcem (GROS 1996), jehož nedílnou součástí je fáze přemístění či manipulace. Slovo přemístění či manipulace má tedy častěji význam přepravy, která je charakterizována jako cílená činnost, jejíž výsledkem je doprava požadovaného z místa výchozího do místa cílového (DANĚK a KŘIVDA 2003).

Současná věda nabízí mnoho cest, jak řešit úlohy či problémy dopravního charakteru. Mezi jednodušší a nutno říci vizuálně velice přívětivé patří grafické přístupy, jejichž základ pramení v teorii grafů. Základní terminologii a připodobnění se věnuje například (GOLUMBIC 2014) či (DIESTEL 2000). Aplikací pohybu na grafy a výčet základních omezených grafických úloh je možné nalézt například v (HLINĚNÝ 2008). Grafické přístupy jsou velice elegantní a přehledné při zpracování, avšak jak naznačují analytické algoritmy nad grafy dle (KLUVÁNEK a BRANDALÍK 1982) jejich použitelnost je deklarována pouze pro omezené spektrum úloh. Pro rozsáhlé úlohy o mnoha prvcích je pro řešitele extrémně časově náročné tyto algoritmy použít. Složitost v takovém případě také zvyšuje pravděpodobnost chyby.

Oblast výrobní logistiky či obecného plánování posloupnosti určitých činností s cílem kriteriálně nalézt extrém řešení má své základní zastoupení v úlohách o rozvrhování výroby. Teoretický základ a vhodné příklady včetně způsobů, jak analytické výpočty automatizovat nabízí například (CHAN a LEE 2008). V této literatuře je použití grafických metod, jako jsou například Ganttovy diagramy zmiňováno spíše s vizuálního hlediska podpory řešení, nikoli jako stěžejní nástroj výpočtu. Tato problematika je také zmiňována u autorské dvojice (KLUVÁNEK a BRANDALÍK 1982). Zdroj (REBIERE a REBIERE 2017) doporučuje pro zpracování téměř výhradně některý ze specializovaných softwarových produktů, které řešitelé mohou ušetřit čas.

V oblasti matematické statistiky a matematického modelování lze bezesporu také hledat inspiraci k řešení komplexních zadání v oblasti výrobní a zásobovací logistiky. Silná korelace je zde zejména s úlohami teorie hromadné obsluhy, které jsou zmíněny například v (KLUVÁNEK a BRANDALÍK 1982). Podstata těchto úloh vychází z teorie pravděpodobnosti jevů. Samotná teorie pravděpodobnosti se zde jeví jako vhodná nástroj k popisování řešeného problému díky možnostem statistického vyhodnocení (BRIŠ 2010). Mezi použitelné k dosažení výsledku lze zařadit z oblasti teorie hromadné obsluhy Markovovy systémy hromadné obsluhy, a to zejména z toho důvodu, že jsou analyticky řešitelné (KOŘENÁŘ 2010). Analyticky řešitelné úlohy jsou však poměrně omezené a neumožňují variabilitu například v operačních časech pro různé obslužné prvky, která je v dnešních logistických systémech častým jevem (SIXTA a MACÁT 2005). Přínosem těchto teoretických poznatků pro předkládanou práci je však bezesporu způsob modelování příchodu zákazníků do obslužného systému popsán také v (ZUKERMAN 2010). Jedná se o vyjádření počtu příchodu požadavků do systému Poissonovým rozdělením s exponenciálními intervaly mezi výskyty těchto událostí.

Vyústěním analýzy stavu analytických metod pro možnost definovat, verifikovat a ověřit charakteristické ukazatele efektivity a ekonomiky provozu systémů výrobní a zásobovací logistiky je skutečnost, že tyto metody sice nabízejí dosažitelná řešení, jsou však omezena soustavou podmínek, a proto je možné je pro řešení v rámci předložené práce použít jen stěží. Inspiraci je proto možné hledat dále v metodách simulačních. Vhodnost použití simulačních metod pro řešení komplexních úloh z oblasti logistiky zmiňují například autoři (SEMANCO a MARTON 2013). Jejich použitelnost pro řešení

úloh z oblasti teorie hromadné obsluhy deklaruje také (KLVAŇA 2005) či přímé srovnání analytické metody s metodou simulační dle (HOLÍK 2009). Otevřenost simulačních metod odráží také skutečnost, že je možné vybrat si hned s několika předních softwarových produktů. Autoři (VIEIRA 2004) a (GARRIDO 2009) upřednostňují simulační nástroj Arena, kolektiv autorů (BOHÁCS aj. 2013) simulační software Simul8 včetně praktických úloh z oblasti logistiky (BANGSOW 2010). Dalším významným hráčem na tomto pomyslném poli je software Plant Simulation (SIEMENS PLM SOFTWARE Inc. 2009), který se vyznačuje obdobně jako jeho konkurenti implementovaným programovacím jazykem. Tato možnost je označena dle (KLIMENT aj. 2014) jako základ univerzálního použití simulačních nástrojů. Paletu simulačních nástrojů uzavírá produkt britské společnosti Lanner Group Ltd. software Witness (LANNER GROUP LTD 2013), v němž bylo provedeno zmíněné srovnání s analytickým řešením úloh teorie hromadné obsluhy (HOLÍK 2009).

V souvislosti se simulačními nástroji je také zmíněna možnost provádět analýzy typu „what-if“ a ihned pozorovat dopady změny v simulačním modelu (MANAGEMENTMANIA.COM 2011). Adaptabilitě simulačních nástrojů konkrétně nástroje Witness se poté blíže věnuje například (AL-AOMAR aj. 2015) či přímo vývojář (LANNER GROUP LTD 2001). Nástroje Arena či Simul8 lehce zaostávají v oblasti aplikačních příkladů z oblasti výrobní a zásobovací logistiky, kde inspiraci v podobě simulace pohybu manipulační techniky nabízí například (RUNCIMAN 1997). Nezbytnou otázkou související s použitím simulačních nástrojů je způsob získání kvalitních dat pro simulační model. Zde se nabízí již zmíněná matematická statistika, která je zde součástí teoretické oblasti zvané metodologie, přesněji její částí věnující se kvalitativnímu, kvantitativnímu a smíšenému výzkumu (HENDL 2005). Odděleně například v podání autorů (FERJENČÍK 2010) či (CRESWELL 2009). Otázku, jaká data vlastně zkoumat řeší odvětví lidské činnosti zvané logistický controlling, kde je jako příklad sledovaných ukazatelů možno poukázat na (ÚSTAV LOGISTIKY A MANAGEMENTU DOPRAVY, FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE ZA ODBORNÉHO PŘÍSPĚNÍ SPOLEČENSTVÍ AUTODOPRAVCŮ ČECH A MORAVY (SAČM) 2014). Vědní obor metodologie člení způsoby získávání dat a zmiňuje také oblast měření práce. Významným příspěvkem v oblasti měření práce jsou díla (IPA SLOVAKIA 2017) nebo (MAŠÍN a VYTLAČIL 2000) a nepochybně také úzce profilovaná teorie stanovování časů jednotlivých operací, známá jako metoda MTM (MAYNARD 2013) či metoda MOST (DYNAMICFUTRE 2010).

Tato práce si tedy klade za cíl zkoumat obecně známé metody z oblasti verifikace, plánování a optimalizace systémů výrobní a zásobovací logistiky tak, aby našla vhodný přístup k sestavení a validaci parametrizovatelného modelu pro popsanou problematiku. Protože každá z výše zmíněných teoretických oblastí nabízí přístupy mající různá omezení, je pro vytvoření metody práce výzvou propojení jejich hlavních přínosů a konsolidace funkcionalit.

4 Cíle disertační práce

Cíle této disertační práce reflektují hodnocení současného stavu, požadavky a náročnost tvorby logistického plánu pro řízení procesu výrobní a zásobovací logistiky v podniku. Na základě zmapování těchto klíčových podkladů je hlavním cílem disertační práce výzkum a vývoj metody práce s využitím parametrizovatelného dynamického simulačního modelu v prostředí objektového simulačního nástroje Witness, která umožní uživateli na základě definovaných parametrů řešeného systému výrobní a zásobovací logistiky rychle vyhodnotit výkonost a rentabilitu koncepce provozu či operativního nastavení řešeného procesu. Výsledkem je tedy stav nalezení takového řešení, které bude nejen zohledňovat provozní omezení, ale bude také vést ke zlepšení kvality poskytovaného servisu či snížení nákladů na provoz zkoumaného systému.

Přínosem takto vytvořeného simulačního modelu bude nejen definice klíčových vstupních ukazatelů efektivity a rentability procesního fungování zkoumaného systému, ale také minimalizace doby na vyhodnocení charakteristik systému, jež jsou dnes předmětem činnosti logistického controllingu. Tímto bude zajištěno, že si bude uživatel schopen v krátkém čase ověřit fungování určitého logistického konceptu na simulačním modelu řešeného systému, a kromě možnosti jeho uvedení do praxe, bude mít také možnost identifikovat klíčové prvky, které největší měrou negativně ovlivňují jeho efektivitu a rentabilitu.

Implementace principů výrobní inteligence do metody práce s vytvořeným modelem bude v rámci práce realizována ve formě dílčího algoritmu, který na základě uživatelsky zadaných klíčových parametrů systému omezí kombinatoriku možných řešení tak, aby uživatel vyplnil pouze ty údaje, které jsou pro řešení jím definovaného systému potřeba. Situaci si lze v podmínkách simulačního modelu zásobovacího procesu v podnikové praxi představit tak, že uživatel zadá například počet manipulačních zařízení patřících do určité atrakční skupiny a seznam obsluhovaných bodů a systém mu sám nachystá výčet relací, ve kterých se na základě specifikace obsluhovaných bodů může daná atrakční skupina manipulačních zařízení pohybovat. Nebude tedy nutné díky této inteligenci vyplňovat kombinatoricky matici vzdálenosti každého bodu s každým. Obdobně lze řešit i další vazby, například definici časů nakládky a vykládky v určitých uzlech zkoumaného systému.

Sekundárním cílem tohoto koncepčního řešení v rámci disertační práce bude vytvoření uživatelského ovládacího webového rozhraní pro ovládání simulačního modelu a práci s výsledky simulačního experimentu, které by umožnilo uživateli nabízet následující výhody:

- Úplnou specifikaci všech potřebných vstupních parametrů simulovaného systému s možností jejich dávkového vyplňování pomocí načítání připravených tabulek z prostředí MS Excel
- Odstranění potřeby vlastnictví licence simulačního software
- Odstranění potřeby znalosti simulačního prostředí
- Grafickou a tabelární vizualizaci dosažených výsledků simulace s možností exportu do MS Excelu

5 Teoretický rozbor problematiky

O problematice, kterou se zabývá tato disertační práce, je možné konstatovat, že je velmi úzce spjata s metodami operační analýzy, nejčastěji s teorií grafů, matematickou analýzou a teorií hromadné obsluhy.

Poznatky z teorie grafů lze pro potřeby této práce použít jako prostředek pro znázornění vazeb (hrany) mezi důležitými prvky (vrcholy) zkoumaného dopravního systému. Oblast matematické statistiky dává návod, jak data z reálného zkoumaného systému analyzovat, sbírat a vyhodnocovat pro další použití. Poznatky z teorie hromadné obsluhy lze poté využít k připodobnění zkoumaného systému k analyticky řešitelným úlohám, které nabízejí kroky k nalezení počtu obslužených prvků pro optimální fungování zkoumaného systému.

5.1 Teorie grafů

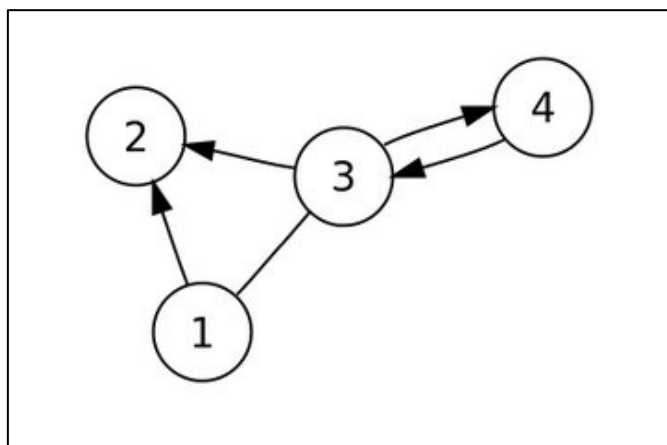
Z hlediska logistického plánování hrají z oblasti teorie grafů důležitou roli zejména možnost vizualizace zkoumaného problému a základní úlohy o pohybu na grafech. Základní úlohy jsou použitelné pro řešení elementárních příkladů, nikoli však pro řešení komplexních a rozsáhlých úloh. Pro bližší vysvětlení je v rámci této práce nutno si nejprve vysvětlit základní pojmy z oblastí teorie grafů.

Formální definici grafu lze hned úvodem rozdělit na dva základní typy, a to na neorientovaný graf a orientovaný graf neboli digraf (GOLUMBIC 2004). Autor také blíže charakterizuje graf jako uspořádanou dvojici $G = (V, E)$ kde V znázorňuje množinu vrcholů a E množinu hran.

Množina hran neorientovaného grafu je dle (DIESTEL 2000) označována jako množina neuspořádaných dvouprvkových podmnožin množiny vrcholů V . Neorientované hrany mezi vrcholy jsou často označovány zápisem $\{u, v\}$, $u, v \in V$, $u \neq v$.

Vezmeme-li v úvahu orientovaný graf, je zápis pro hranu orientovaného grafu modifikován do podoby (u, v) , $u, v \in V$, $u \neq v$. Zápis lze interpretovat tak, že orientovaná hrana vede právě z vrcholu $u \in V$ do vrcholu $v \in V$.

Mezi běžné způsoby znázorňování grafů a jejich prezentaci lze zařadit dle (GOLUMBIC 2004), (DIESTEL 2000) výčet vrcholů a hran či diagram grafu. Příklad diagramu grafu s orientovanými i neorientovanými hranami je uveden na obrázku č. 1. Ke grafu reprezentovanému na obrázku č.1 náleží výčet vrcholů a hran v podobě: $V = \{1, 2, 3, 4\}$, $E = \{\{1, 3\}, (1, 2), (3, 2), (3, 4), (4, 3)\}$



Obr. 1 – Příklad grafu s orientovanými i neorientovanými hranami

Mezi další způsoby prezentace a zápisu grafů patří například matice sousednosti, jež je běžně používána v informatice (DIESTEL 2000) a její princip je také využit v rámci této práce. Maticí sousednosti se rozumí dvourozměrné pole označující vrcholy, mezi nimiž se hrana nachází. Matematicky tedy:

$$e[u][v] = 1 \quad (1)$$

Vztah značí existenci hrany mezi vrcholy u a v . Při zpracovávání neorientovaných hran v informatice se nesmí zapomenout na zadání jak $e[u][v] = 1$, tak $e[v][u] = 1$. Literatura (HLINĚNÝ 2008) popisuje několik velmi důležitých pojmů a dále vysvětluje, jak se provádí tzv. pohyb na grafech. Obdobné vysvětlení je možné nalézt také v (GOLUMBIC 2004). Mezi důležité pojmy lze zařadit:

- Násobné hrany – hrany mající společné koncové vrcholy
- Smyčka – hrana, jejíž koncové vrcholy splývají
- Ohodnocení vrcholu – číslo přiřazené vrcholu, které lze například použít pro reprezentaci počtu nutných zastávek v daném vrcholu
- Ohodnocení hrany – číslo přiřazení hraně, které lze například použít k reprezentaci doby jízdy mezi vrcholy, které hrana spojuje
- Stupeň vrcholu – udává počet hran, které s daným vrcholem incidují, neboli počet hran, které z daného vrcholu vycházejí (nerozlišuje se orientace hrany), stupeň vrcholu v v grafu G podle (HLINĚNÝ 2008) označujeme $d_G(v)$. O součtu stupňů vrcholů v grafu lze také prohlásit, že je vždy sudý, neboť každá hrana je v něm počítána dvakrát, zde platí tzv. princip sudosti:

$$\sum_{i=1}^n st(v_i) = 2|H| \quad (2)$$

- Kružnice – graf, ve kterém jsou všechny vrcholy druhého stupně. Graf s vrcholy stejného stupně je rovněž označován jako pravidelný, například dle (DIESTEL 2000)
- Isomorfismus – jedná se o vzájemnou jednoznačnost (totožnost) dvou zkoumaných grafů. Matematicky lze na příkladu uvést dle (HLINĚNÝ 2008) $f: V(G) \rightarrow V(H)$ pro které platí, že každá dvojice vrcholů $u, v \in V(G)$ je spojená hranou v G právě tehdy, když je dvojice $f(u), f(v)$ spojená hranou v grafu H

Při pohybu po grafu neboli jak odborná literatura uvádí „při úlohách o procházení grafem“ procházíme hranami vždy mezi sousedními vrcholy. Toto procházení by mělo být bez zacyklení se v grafu. Pro bližší seznámení je nutné znát pojmy:

- Sled – posloupnost vrcholů a hran, která začíná a končí ve vrcholu. Příkladem je $v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, e_3, v_3 \dots, e_n, v_n$ (HLINĚNÝ 2008), ve které hrana e_i má koncové vrcholy v_{i-1} a v_i . Příkladem sledu v logistice je například rozvozová trasa manipulačního vozíku
- Cesta – jedná se o sled, ve kterém se neopakuje žádný vrchol
- Minimální cesta – jedná se o cestu mezi vrcholy u a v , která je ze všech možných cest z pohledu součtu ohodnocení zařazených hran minimální

Úloha o vyhledání minimální cesty na grafu je analytickou aplikací, která se opírá o Bellmanovu rovnici (BELLMAN a DREYFUS 1951), jež je popsána také v (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982) a u níž je zřejmé, vzhledem k vyhledávání minima, praktická využitelnost v rozvozových úlohách. Existují také složitější algoritmy, které jsou v hledání minimální cesty daleko propracovanější, ale k jejich aplikaci a dosažení výsledků pomocí nich, je již třeba výpočetní výkon počítače. Nejedná se také již o grafické metody, nýbrž o algoritmy matematického modelování. Jedná se například o Dijkstrův algoritmus (GOLUMBIC 2004). Tento algoritmus označuje zdroj (HLINĚNÝ 2008) za rychlejší, neboť vyhledává nejkratší

vzdálenosti pouze ze zdrojového vrcholu u namísto všech dvojic vrcholů. Zajímavostí z praxe je, že Dijkstrův algoritmus se používá například při vyhledávání vlakových a autobusových spojení. Podstatou měření vzdálenosti na grafech je také nutnost tzv. splnění trojúhelníkové nerovnosti, kterou (HLINĚNÝ 2008) uvádí pro neorientovaný graf v následujícím tvaru:

$$\forall u, v, w \in V(G): d_G(u, v) + d_G(v, w) \geq d_G(u, w) \quad (3)$$

Pro dovysvětlení symbolizuje $d_G(u, v)$ vzdálenost vrcholů u a v náležící množině vrcholů V v grafu G . Trojúhelníková nerovnost tedy říká, že součet vzdáleností mezi vrcholy pro první a druhou dvojici vrcholů vytvořených ze zkoumané podmnožiny trojice vybraných vrcholů musí být větší či roven vzdálenosti mezi vrcholy u zbylé dvojice vrcholů ze stejné podmnožiny. Mezi další klíčové pojmy pohybu na grafech lze zařadit následující:

- Tah – sled ve kterém se nevyskytuje žádná použitá hrana dvakrát
- Eulerův tah – jedná se o tah, při kterém dojde k navštívení všech hran v grafu

Základní grafické úlohy (někdy také označované jako základní konstrukční úlohy) jsou v dopravních problémech velice užitečné.

Jednou ze základních konstrukčních úloh teorie grafů je úloha o konstrukci Eulerova tahu (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982). Jeho využití je možno nalézt v praxi například při potřebě projet všemi cestami zkoumané dopravní sítě (síťového grafu). Ke konstrukci Eulerova tahu lze využít Fleuryho algoritmus (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982). Uplatnění nachází tato konstrukční úloha při obsluze úseků dopravních sítí (např. při zimní nebo letní údržbě pozemních komunikací).

Mezi další úlohy z teorie grafů, pro něž je možno čerpat v dopravě a logistice inspiraci, patří také úloha o vyhledání minimální kostry grafu, která má své uplatnění při hledání zajištění základního spojení mezi všemi vrcholy tak, aby součet zařazených hran byl minimální. Ke konstrukci minimální kostry jsou využívány Borůvkův algoritmus, Jarníkův – Primův algoritmus nebo Kruskalův algoritmus, viz (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982) nebo (GOLUMBIC 2004). Praktické užití nachází tyto aplikace například při kalamitních stavech v zimním období, kdy je nutno zajisti spojení všech vrcholů grafu, které mohou reprezentovat například města.

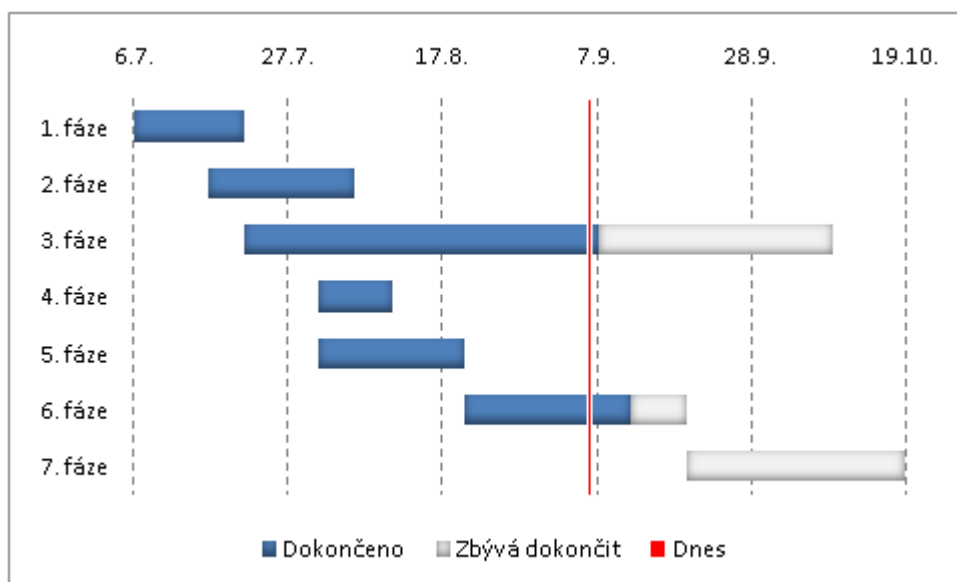
Propojení vrcholů ve tvaru kružnice lze zajistit pomocí úlohy o vyhledání tzv. Hamiltonovy kružnice či její minimalizovanou variantu z pohledu součtu ohodnocení zařazených hran (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982). Tento typ úlohy nachází uplatnění při optimalizaci okružních jízd.

Jak naznačují vybrané a nutno však říci užitečné aplikace z oblasti teorie grafů, jsou spíše metodami pro řešení dílčích úloh, než vhodným přístupem pro řešení komplexního systému výrobní a zásobovací logistiky.

5.2 Ganttovy diagramy

Mezi grafické metody, které lze rozhodně v oblasti výrobní a zásobovací logistiky použít, nesmí chybět Ganttův diagram. Ganttovy diagramy také nejsou příliš vhodnými nástroji k řešení komplexních úloh, neboť nemají z pohledu vyhodnocení řešeného systému potřebné nástroje k výpočtu rezerv a využití, jsou však velice užitečné při grafické interpretaci vazeb a k řešení nepříliš rozvětvených úloh. Zahraniční literatura nejčastěji uvádí termín „Gantt chart“. Ganttův diagram je také dle (CHAN a LEE 2008) definován jako vhodný nástroj k vizualizaci časové náročnosti a posloupnosti jednotlivých částí projektu. Pro řízení a kontrolu projektu je potřeba přiměřeně detailní a zároveň realistické plánování. Kromě návaznosti jednotlivých dílčích fází projektu, je možné tento diagram využít také k tomu, že

sledujeme míru plnění dílčích úkolů a celkovou časovou náročnost. Je tedy zřejmé, že Ganttův diagram je vykreslován v závislosti na čase. Výsledné diagramy se zobrazují ve sloupcích umístěných horizontálně, které reprezentují časové období. Podle délky plánování či řešení projektu se zobrazuje období v odpovídající podrobnosti na roky, měsíce či dny. V řádcích, jež jsou vertikálně řazené, se pak vykreslují dílčí operace, kroky, aktivity či úkony, a to v takovém pořadí, které odpovídá jejich logickému sledu. Zde je nutno odlišit, že nejde tentýž pojem sled deklarovaný v předchozí kapitole. Délka trvání určité činnosti je vymezena časovým intervalem. Příkladem Ganttova diagramu pro sedmifázový proces je obrázek č.2.



Obr. 2 – Příklad Ganttova diagramu pro 7 fázový proces (BOLCH aj. 2006)

Za průnik teorie grafů a Ganttova diagramu lze s trochou nadsázky považovat analytiku metodu CPM neboli metodu kritické cesty (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982). Podstatou metody je však hledání kritické posloupnosti úkonů a jejich rezerv, což není zcela podstatou této práce.

Využití Ganttova diagramu jako grafického přístupu k řešení v této práci je možný také díky skutečnosti, že povaha deklarovaných charakteristik řešeného problému se v praxi zjednodušuje pro deterministické vyjádření. Pro zodpovězení otázek výkonosti systému a efektivity využívání zdrojů v rámci Ganttových diagramů se však dostáváme do problému se samotným grafickým zpracováním. Pro získání výstupů, které nemají jen povahu vizualizace návazností jednotlivých činností je zpravidla nutné (REBIERE a REBIERE 2017) využít některé ze specializovaných softwarových řešení, které umožňují provádět součty trvání jednotlivých činností, vyhodnocení potřeby jednotlivých zdrojů a další přidružené statistické úkony. Dle (REBIERE a REBIERE 2017) patří mezi rozšířené a ověřené softwarové aplikace například sada nástrojů Oracle Primavera (ORACLE CORPORATION 2014) či Microsoft Project (MICROSOFT CORPORATION 2017), které reprezentují skupinu placených produktů.

Využití Ganttových diagramů je při vědeckém přístupu k řešení často zmiňováno v souvislosti s řešením úloh o rozvrhování výroby (Job Shop Scheduling, Flow Shop Scheduling). Praktická aplikace je dobře vysvětlena například v (CHAN a LEE 2008). Podstatou užití je však skutečnost, že Ganttovy diagramy zde figurují zejména jako vhodný nástroj k prezentaci problému či výsledných návrhů řešení, nikoliv jako stěžejní nástroj k získání řešení. Je tedy vhodné se od grafických metod posunout dále k metodám analytickým, které vzhledem k problematice blíže řeší například teorie hromadné obsluhy.

5.3 Matematická statistika

Mezi užitečné aplikace pro řešení specifikovaného cíle z oblasti výrobní a zásobovací logistiky je možno zařadit také přístupy z oblasti matematické statistiky. Silnou podobnost lze zejména spatřit v úlohách teorie hromadné obsluhy, a to jak na straně potřebných vstupních informací, tak na straně zkoumaných charakteristik a vyhodnocení.

Předmětem teorie hromadné obsluhy, jež bývá někdy označována také jako teorie front (Queueing Theory) (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982), je matematické modelování a analýza chování systémů, které zpracovávají příchozí požadavky. Takto popsaný systém lze nazývat systémem hromadné obsluhy (dále jen SHO). SHO je zpravidla tvořen jedním či více různě prostorově uspořádanými obslužnými zařízeními. Takovýmto zařízením tvořícím SHO říkáme obslužné linky. Obslužné linky zpracovávají příchozí požadavky, které mohou vytvářet fronty. Jakmile se požadavek dostane na řadu ke zpracování, je obsloužen a po ukončení obsluhy opouští SHO. Dříve, než se budu v práci věnovat vybraným typům SHO, je nutné se blíže seznámit s rozsáhlou matematickou disciplínou, kterou je teorie pravděpodobnosti a její dílčí aspekty, jež zmíněná teorie hromadné obsluhy využívá.

5.3.1 Teorie pravděpodobnosti

Základním cílem teorie pravděpodobnosti je snaha kvantifikovat nastoupení náhodné jevu. V rámci této snahy jsou nejprve definovány základní pojmy, se kterým se zde setkáváme. Klíčovým pojmem je náhodná veličina (též nazývaná jako stochastická veličina).

- Náhodná veličina X je veličinou, která může nabývat množiny hodnot x , a to vždy s určitou pravděpodobností $P(x)$

Dále rozeznáváme také pojem náhodný proces. Při vyjádření pomocí náhodné veličiny dostaneme následující vazbu:

- Náhodný proces je proces, který můžeme charakterizovat jako množinu náhodných veličin, závislých na specificky určeném počtu parametrů (LUKÁŠ 2009)

Teorie pravděpodobnosti nabízí využít k řešení vzhledem k podobnosti úloh zejména zpracování náhodného výběru, odhady parametrů, testování statistických hypotéz či testování typů rozdělení. Každé z oblastí je pro bližší vysvětlení věnována kratší podkapitola.

5.3.2 Zpracování náhodného výběru

Řekne-li se zpracování náhodného výběru, rozumí se tím využití statistiky k tomu, abychom na základě výběrového souboru usuzovali na vlastnosti celé populace.

- Populace neboli základní soubor je výčet všech existujících členů (prvků) v námi sledovaném šetření (LUKÁŠ 2009)

Náhodný výběr tedy zpracováváme proto, že může být zkoumání všech prvků například z časových důvodů nemožné či problematické. Mezi vlastnosti náhodného výběru můžeme zařadit to, že může být stanoven několika způsoby s tím, že každý prvek celé populace má rovnocennou šanci být vybrán. Výběry lze dělit podle toho, zda jsou malého rozsahu či velkého rozsahu. Hraničním je zde počet prvků výběru. Za hraniční počet, který je zde zmiňován a zároveň odděluje výběry velkého rozsahu od výběrů malého rozsahu, je číslo $n = 30$. Použité písmeno n tedy označuje rozsah zkoumaného souboru. V literatuře se lze také setkat s tím, že prvkům výběrového souboru říkáme proměnné a hodnotám,

kterých nabývají, říkáme varianty proměnné. Klíčovým pojmem při zpracování náhodného výběru je četnost. Rozeznáváme a pracujeme s následujícími četnostmi popsány v textu dále.

Absolutní četnost označovaná jako n_i je charakterizovaná jako počet stejných prvků dané proměnné ve zkoumaném souboru. Ve zkoumaném souboru poté platí následující vztah:

$$\sum_{i=1}^k n_i = n \quad (4)$$

Relativní četnost p_i je definována jako podíl absolutní četnosti proměnné k rozsahu souboru. Relativní četnost je určena vztahem 5, níže. Dále platí uvedená rovnost dle vztahu 6.

$$p_i = \frac{n_i}{n} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^k p_i = 1 \quad (6)$$

Kumulativní četnost jakožto další z četností je zde označována jako m_i a je stanovena jako součet absolutních četností variant proměnné menších nebo rovno právě variantě proměnné x_i . Platí tedy že:

$$m_i = \sum_{x \leq x_i} n_i \quad (7)$$

Analogicky je poté stanovena relativní kumulativní četnost F_i , jež je definována jako podíl kumulativní četnosti proměnné k rozsahu souboru. Relativní kumulativní četnost je určena vztahem 8, níže. Dále rovněž musí platit rovnost dle vztahu 9.

$$F_i = \frac{m_i}{n} \quad (8)$$

$$F_k = 1 \quad (9)$$

Tyto základní statistické operace lze doplnit o velice rozšířené aplikace při zjišťování charakteristik výběrového souboru. Mezi ně rozhodně patří tzv. míry polohy a míry variability (LUKÁŠ 2009). Mírou polohy tedy nazýváme výběrový průměr \bar{x} , modus Mod a výběrové kvantily x_p . Výběrový průměr bývá obvykle určován jako aritmetický průměr dle vztahu 10. Existují i jiné metody, jak určit průměr podle povahy zkoumané proměnné, ale pro potřeby návazných funkcí teorie pravděpodobnosti si zde vystačíme s aritmetickým průměrem.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (10)$$

Modem jako dalším z polohových měr je označována proměnná, jež má největší četnost. Zkoumaný soubor proměnných může mít i více než jeden modus. Posledním představitelem či spíše představiteli jsou výběrové kvantily. Kvantil dělí zkoumaný soubor na dvě části, z nichž první je menší než daný kvantil a druhá zjednodušeně obsahuje zbylé hodnoty, jež jsou rovny či větší než zmíněný kvantil. Obecný $100 \cdot p\%$ kvantil odpovídá pozorování při vzestupném řazení proměnných s pořadím z_p dle 11. Symbol n reprezentuje počet proměnných. Pokud výsledkem není celé číslo je poté výsledkem číslo odpovídající aritmetickému průměru proměnných s pořadím z_p a z_{p+1} dle vztahu 11.

$$z_p = n \cdot p + 0,5 \quad (11)$$

Aplikace výběrového průměru či modu je často využívána k základnímu statistickému vyhodnocení zkoumaných proměnných určitého výběrového souboru. Jeho použití lze nalézt také v experimentální části této práce.

Míry variability obsahují některé aplikace měr polohy a jsou využívány při posuzování zejména rozsáhlejších souboru nebo při posuzování reprezentativnosti výběru. Tímto se má na mysli zejména

identifikace odlehlých pozorování. Vybrané míry variability, které s tímto souvisí jsou následující patří směrodatná odchylka výběrového souboru či interkvartilové rozpětí.

Směrodatná odchylka výběrového souboru je určena jako odmocnina z výběrového rozptylu a má tvar:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

Interkvartilové rozpětí, jak již název napovídá, odpovídá rozdílu horního kvartilu, kterým je 75% kvantil a dolního kvartilu, kterým je 25% kvantil. Matematicky poté dle 13.

$$IRQ = x_{0,75} - x_{0,25} \quad (13)$$

Pro identifikaci a následnou eliminaci odlehlých pozorování nabízí věda více postupu k jejich zjištění. Omezíme se při detailním popisu pouze na základní metodu pomocí tzv. vnitřních hradem, jež pracuje s interkvartilovým rozpětím. Další metoda využívající tzv. „Z“ souřadnici právě využívá k určení směrodatnou odchylku výběrového souboru. Dle metody pomocí vnitřních hradem je za odlehlé pozorování považována proměnná, jejíž hodnota spadá do následujících intervalů. Buď jde o hodnoty vzdálené od dolního kvartilu o více než 1,5 násobek interkvartilového rozpětí nebo analogicky o hodnoty vzdálené od horního kvartilu o více než 1,5 násobek interkvartilového rozpětí. Matematicky jsou intervaly určeny jako: $(-\infty; x_{0,25} - 1,5 \cdot IRQ) \cup (x_{0,75} + 1,5 \cdot IRQ; \infty)$. U rozsáhlých zkoumaných souborů se také doporučuje sdružovat jednotlivé proměnné do tříd, zpravidla se volí konstantní šířka třídy a platí, že každá proměnná je přiřazena pouze do jedné třídy. Počet tříd k zpravidla volíme na základě Sturgesova pravidla které je dáno vztahem 14.

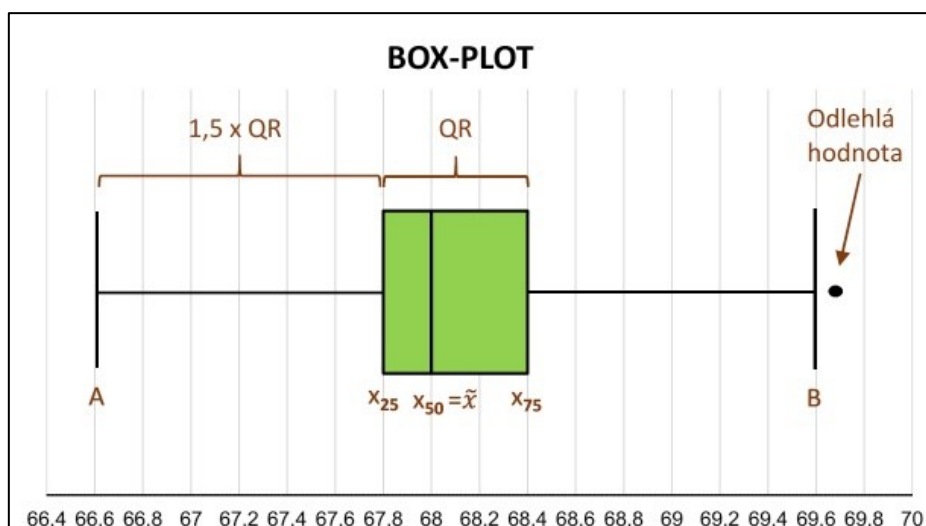
$$k \approx 1 + 3,3 \cdot \log n \quad (14)$$

Každou třídu poté reprezentuje třídni znak z_i který je aritmetickým průměrem dolní a horní hranice třídy. Je-li výběrový soubor zadán pomocí tříd i s četnostmi n_i , je třeba upravit také vztahy pro výpočet základních výběrových charakteristik jako jsou výběrový průměr (vztah 15) a výběrová směrodatná odchylka (vztah 16).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i \cdot z_i \quad (15)$$

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k n_i \cdot (z_i - \bar{x})^2} \quad (16)$$

Vhodnou interpretací odlehlých pozorování je grafická reprezentace například v podobě krabicových grafů (WILLIAMSON aj. 1989). Příklad krabicového grafu je zobrazen na obrázku č. 3.



Obr. 3 – Náhled krabicového grafu (DUDEK 2017)

5.3.3 Teorie odhadu

Podstatu teorie odhadu je určení neznámého parametru rozdělení zkoumané populace, tedy náhodné veličiny, a to na základě informace, kterou lze vyčíst ze zkoumaného výběrového souboru dat. Při odhadování nás zajímá zejména hodnota odhadu čili přibližná hodnota neznámého parametru a jeho přesnost. Teorie rozlišuje dva základní druhy odhadů, a to Bodový odhad a Intervalový odhad.

Bodový odhad se používá tehdy, chceme-li neznámý parametr charakterizovat právě jednou hodnotou, která se, pokud možno, blíží skutečné hodnotě. Je zde však nutno dodat, že hodnota bodového odhadu nereflakuje jeho přesnost. O bodovém odhadu lze také uvést, že uvažujeme-li náhodný výběr proměnných (X_1, X_2, \dots, X_n) neznámého rozdělení, jež je závislý na hodnotě parametru θ , pak je bodovým odhadem hledaného parametru θ libovolná výběrová charakteristika, někdy také uváděna jako funkce náhodného výběru $T(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Příkladem je bodový odhad střední hodnoty, kdy tedy použijeme vztah pro výběrový průměr, jak je uvedeno níže ve vztahu 17.

$$T(X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (17)$$

Pro důkaz nestrannosti bodového odhadu musí platit, že střední hodnota funkce náhodného výběru $E[T] = \theta$ pro $\forall \theta$. Pro nezávislý náhodný výběr z rozdělení se střední hodnotou μ tedy:

$$E \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right] = \mu \quad (18)$$

Intervalový odhad se používá tehdy, chceme-li neznámý parametr charakterizovat intervalem, který s velkou pravděpodobností obsahuje skutečnou hodnotu. Z pohledu přesnosti odhadu platí, že rozsah intervalu reflektuje jeho přesnost. Teorie označuje intervalový odhad $\langle T_D, T_H \rangle$, jehož meze jsou tvořeny náhodnými veličinami T_D, T_H za konkrétní realizaci intervalu spolehlivosti. Intervalem spolehlivosti, někdy také označovaným za konfidenční interval, pro parametr θ je se spolehlivostí $1 - \alpha$, pro hladinu významnosti $\alpha \in (0,1)$ dvojice statistik T_D, T_H pro niž platí:

$$P(T_D \leq \theta \leq T_H) = 1 - \alpha \quad (19)$$

Délka intervalového odhadu vypovídá o jeho přesnosti. Při zachování hladiny významnosti tedy kratší interval představuje přesnější lokalizaci skutečné hodnoty hledaného parametru. V praxi se setkáváme nejčastěji s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$ a při žádané vyšší spolehlivosti s hodnotou $\alpha = 0,01$.

Intervalový odhad může být jednostranný (pravostranný či levostranný) nebo oboustranný. Při jeho tvorbě postupujeme tak, že zvolíme vhodnou výběrovou charakteristiku, jejíž rozdělení, závislé na hodnotě parametru θ , známe. Nejčastěji jde o studentovo rozdělení pravděpodobnosti. Dle stanovené hladiny významnosti určíme kvantily reflektující meze a dle podmínky odvozené ze vztahu 19 určíme hodnoty těchto mezí, do kterých spadá hledaný parametr θ . Jelikož je princip tvorby intervalového odhadu používán při testování hypotéz, bude v rámci následující kapitoly ještě více rozveden.

5.3.4 Testování statistických hypotéz – testování parametrů

Statistické hypotézy neboli hypotézy o populaci se dělí na parametrické a neparametrické. Parametrickou hypotézou je hypotéza o parametru rozdělení neboli populace. Neparametrickou hypotézou je hypotéza, která se zabývá jinými vlastnostmi rozdělení než jeho parametry. Za jiné vlastnosti je považovat například tvar rozdělení. V rámci užitečnosti pro tuto práci se budeme nejprve zabývat parametrickými hypotézami, neboť mají mimo jiné přímou návaznost na předchozí kapitolu. V další kapitole se poté budeme věnovat testům typů rozdělení. Z pohledu parametrických hypotéz je možné dále v členění postupovat takto:

- Hypotézy o parametru jedné populace (například medián či rozptyl)
- Hypotézy o parametrech dvou populací (srovnávací testy)
- Hypotézy o parametrech více než dvou populací

Podstata testování statistických hypotéz tkví v tom, že porovnáváme dvě hypotézy. První z hypotéz, označována H_0 a nazývána jako nulová hypotéza je hypotézou, kterou testujeme. Testujeme-li nulovou hypotézu, znamená to, že předpokládáme, že platí. Druhou z hypotéz, označovanou jako alternativní hypotéza je hypotéza H_1 . Dále určíme, kterým náhodným pokusem, pro naše potřeby tedy, která náhodná veličina (parametr náhodného výběru) bude výsledkem našeho pokusu. Pokud při posuzování výběrového souboru neprokážeme statisticky významný rozpor s nulovou hypotézou, pak nesmíme nulovou hypotézu zamítnout. Toto bývá často přirovnáváno k presumpci nevinu v soudnictví. Vhodný statistický test tedy rozhodne, zda data z výběrového souboru odpovídají nulové hypotéze či nikoli. Zde máme možnost využít dva přístupy:

- Klasický test
- Čistý test významnosti

Oba dva přístupy jsou si postupem výpočtu velice podobné, mají však jednu zásadní odlišnost. U klasického testu je jako vstupní údaj nutno znát hladinu významnosti α . Oproti tomu u čistého testu významnosti vnímáme tu vlastnost, že jeho výsledek umožní tuto hladinu, na níž můžeme případně nulovou hypotézu zamítnout, stanovit. Pro demonstraci použijeme čistý test významnosti, který se skládá z následujících kroků označených písmeny a – d.

a. Formulace nulové a alternativní hypotézy

Při testování hypotéz musíme vždy stanovit obě dvě hypotézy, tedy jak nulovou, tak i alternativní. Nulová hypotéza bývá stanovena jako rovnost u sledovaného parametru (například střední hodnota populace je rovna 100 $\Rightarrow \mu = 100$). Pro alternativní hypotézu máme na výběr ze tří možností. Buďto jednostrannou variantu nerovnosti („<“) či („>“) anebo oboustrannou variantu nerovnosti k nulové hypotéze („≠“). Klíčem ke stanovení vhodného tvaru alternativní hypotézy je výběrový soubor. Lze říci, že pokud je z výběrového souboru vysledován vztah jednostranné nerovnosti k nulové hypotéze (je výrazně menší či větší), volí se alternativní hypotéza právě na základě tohoto vztahu k nulové hypotéze. V ostatních případech volíme oboustrannou alternativní hypotézu.

b. Volba testové statistiky (testového kritéria) $T(\underline{X})$

V odborné literatuře je testové kritérium charakterizováno jako funkce výběru, která vyjadřuje sílu platnosti nulové hypotézy ve srovnání s hypotézou alternativní (BRIŠ 2010). Pro další krok testu musíme znát matematické rozdělení testové statistiky pro platnost H_0 . Jde o hodnotu distribuční funkce dle následujícího vyjádření:

$$F_0(x) = P(T(\underline{X}) < x | H_0) \quad (20)$$

c. Výpočet hodnoty testové statistiky x_{OBS} a výpočet statistiky p – value

Z teorie plyne, že čím nižší hladinu významnosti testu α zvolíme, tím máme širší obor přijetí a test není příliš přísný. Opačně lze tvrdit, že máme-li vyšší hladinu významnosti α , tedy spolehlivost je nižší, obor přijetí se zmenšuje. Zde test zpřísňujeme. Po určité hodnotu p – value dosáhneme stavu, kdy kritická hodnota x_{OBS} splyne s hodnotou testové statistiky:

$$p - value = F_0(x_{OBS}) \quad (21)$$

Díky tomuto stavu můžeme říci, na jaké hladině významnosti p – value nezamítáme nulovou hypotézu. V závislosti na tvaru nerovnosti alternativní hypotézy vypočítáme p – value následovně. H_1 ve tvaru „<“:

$$p - value = F_0(x_{OBS}) \quad (22)$$

Tuto definici použijeme, když pozorovaná data ukazují, že testová statistika by mohla nabývat menších hodnot, nežli jsou hodnoty odpovídající nulovému rozdělení. P – value je pak pravděpodobnost, že testovaný parametr populace bude nanejvýš tak velký jako skutečně zjištěný příslušný parametr výběru, bude-li H_0 pravdivá (BRIŠ 2010). H_1 ve tvaru „>“:

$$p - value = 1 - F_0(x_{OBS}) \quad (23)$$

Tuto definici použijeme, když pozorovaná data ukazují, že testová statistika by mohla nabývat vyšších hodnot, nežli jsou hodnoty odpovídající nulovému rozdělení. P – value je pak pravděpodobnost, že testovaný parametr populace bude alespoň tak velký jako skutečně zjištěný příslušný parametr výběru, bude-li H_0 pravdivá (BRIŠ 2010). H_1 ve tvaru „ \neq “:

$$p - value = 2 \cdot \min\{F_0(x_{OBS}); 1 - F_0(x_{OBS})\} \quad (24)$$

Tuto definici můžeme použít v obou zmíněných případech (22) a (23) výše, nelze však použít u rozptylu, protože vyžaduje symetrické rozdělení (BRIŠ 2010).

d. Rozhodnutí na základě p – value

Je dáno, že čím menší je p – value, tím silnější je tvrzení na základě náhodného výběru směřující proti nulové hypotéze. Obecně ale platí (BRIŠ 2010), že výsledek testu závisí na zvolené hladině významnosti α . Princip rozhodování na základě vztahu α a p – value je uveden jako tabulka č.1. Na základě číselných hodnot α poté dále jako tabulka č.2.

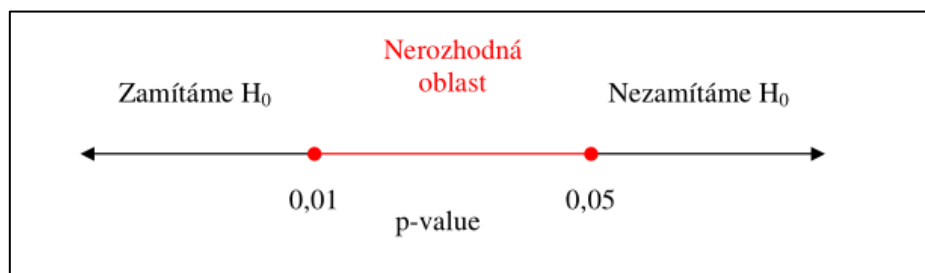
Tab. 1 – Princip rozhodování dle p – value (BRIŠ 2010)

$\alpha > p - value$	Zamítáme H_0 ve prospěch H_A
$\alpha < p - value$	Nezamítáme H_0

Tab. 2 – Princip rozhodování dle číselných hodnot (BRIŠ 2010)

$p - value < 0,01$	Zamítáme H_0
$0,01 < p - value < 0,05$	Nedokážeme rozhodnout a většinou doporučujeme opakovat test s větším rozsahem výběru (to vede ke zpřesnění)
$p - value > 0,05$	Nezamítáme H_0

Grafická interpretace tabulky č.3 je uvedena jako obrázek č.4.



Obr. 4 – Grafická interpretace rozhodování dle číselných hodnot $p - value$ (BRIŠ 2010)

K teoretickému základu testování statistických hypotéz zbývá dodat, že demonstrující příklad na reálných datech je uveden v experimentální části práce. Z bohaté nabídky metod, které teorie pravděpodobnosti a její aplikace nabízejí je vhodné se v této práci také zmínit o testování typů rozdělení. Tato oblast, které je věnována další kapitola je zde umístěna zejména z důvodu nutnosti demonstrovat vhodnost použitých náhodných rozdělení v experimentální části práce. Podstatou výše popsaných metod v návaznosti na cíl práce je zejména podání návodu jako získávat a ověřovat data pro nastavení parametru zkoumaného systému.

5.3.5 Testování statistických hypotéz – testování tvarů rozdělení

Podstata testování tvarů rozdělení je naprosto stejná s testováním parametrů rozdělení. Formulujeme nulovou a alternativní hypotézu. Zvolíme hladinu významnosti, dále vhodně zvolíme testové kritérium a vymezíme kritický obor podle formulované alternativní hypotézy. Dalším krokem je výpočet hodnoty testovaného kritéria a výpočet příslušných kvantilů pro stanovené závěru. Nakonec zbývá jen formulovat závěr podle toho, zda-li hodnota testového kritéria padne do kritického oboru (zamítáme hypotézu H_0) či ne (hypotézu H_0 nelze zamítnout).

Základní úlohou pro testování typu rozdělení je Pearsonův test dobré shody označovaný také jako χ^2 (chí-kvadrát) test dobré shody. Jeho cílem je ověřit, zda náhodná veličina definovaná prvky (X_1, X_2, \dots, X_n) odpovídá předem danému matematickému náhodnému rozdělení pravděpodobnosti. Častou aplikací je ověření normality dat neboli záměr zjistit, zda má náhodná veličina normální rozdělení pravděpodobnosti. Věda však v tomto směru nabízí i speciální testy pro ověření normality dat.

Princip Pearsonova testu spočívá v tom, že hodnoty náhodného výběru roztrídíme do k tříd, přičemž prvek umístěný do jedné třídy se neopakuje v žádné další třídě. Prvky ve třídách jsou tedy disjunktními množinami. Vytvoříme tedy n tříd, přičemž jako vhodné se uvádí, aby každá třída měla alespoň 5 prvků. Četnost každé třídy je rovna n_i , pro $i = 1, 2, 3, \dots, k$. Klíčové je tvrzení, že pravděpodobnost, že náhodná

veličina X nabude hodnoty z určité třídy i , je rovna π_i . Tato pravděpodobnost je dána právě testovaným rozdělením. V základní úloze tedy normálním rozdělením. Testové kritérium je vytvoření na základě porovnání statistické pravděpodobnosti v podobě relativní četnosti p_i s předpokládanou pravděpodobností π_i . Pro testování je tedy nulová hypotéza stanovena tak, že náhodná veličina X má rozdělení pravděpodobnosti ověřovaného typu a alternativní hypotéza je tedy opakem. Testovým kritériem je statistika dle vztahu 25 níže:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \left(\frac{n_i - n\pi_i}{n\pi_i} \right)^2 \quad (25)$$

Dále je pro porovnání nutné znát kritickou hodnotu testu, kterou zjistíme dle definované hladiny významnosti α a parametru počtu stupňů volnosti $\nu = k - h - 1$, kde h je počet parametrů, které jsme odhadovali. Budeme-li chtít ověřit, zda hodnoty náhodné veličiny náleží například Poissonovu rozdělení s parametrem λ , dosadíme právě $h = 1$. Kritickou hodnotu testu nejčastěji zjišťujeme z tabulek nebo pomocí funkce MS Excel dle vztahu níže.

$$\chi_{krit} = CHIINV(1 - \alpha; k - h - 1) \quad (26)$$

Nyní zbývá jen porovnat, zda je hodnota testové statistiky dle vztahu 25 menší než kritická hodnota testu dle vztahu 26. Je-li tomu tak, můžeme tedy dle vztahu 27 prohlásit, že nezamítáme na hladině významnosti α hypotézu o tom, že hodnoty náhodné veličiny X pocházejí s testovaného rozdělení pravděpodobnosti.

$$\chi^2 \leq \chi_{krit} \quad (27)$$

Pro potřeby doplnění této kapitoly je vhodné zde uvést typy rozdělení, které matematická statistika nabízí a která v souvislosti s teoretickými aspekty zkoumaného problému připadají v úvahu. Z hlediska navazujících teorií rozhodujících pro plánování logistických procesů hrají důležitou roli zejména Poissonovo a Exponenciální rozdělení pravděpodobnosti. Tato rozdělení mají nezastupitelnou úlohu (zejména exponenciální) proto, že dokáže v logistických systémech namodelovat co největší nepravidelnost. Použitím získáme pesimistické odhady, což lze zjednodušeně chápat tak, že horší už to nebude. Z pohledu analytického řešení jsou poté nejrozsáhlejší aplikací s použitím těchto pravděpodobnostních rozdělení tzv. Markovovy řetězce.

5.3.6 Markovovy řetězce

Jejich podstatou je skutečnost, že vycházejí z obecných náhodných (stochastických) procesů, avšak výskyt stavu Markovova procesu v určitém časovém okamžiku $t \in T$ závisí pouze na stavu v předchozím časovém okamžiku $(t - 1) \in T$ (ZUKERMAN 2010). Množina T zde může být opět spočetná či nespočetná. V rámci této práce se budu zabývat pouze systémy či procesy, kde je množina T diskrétní, tedy spočetná. Existuje řada odborné literatury, která popisuje Markovovy systémy, pro potřeby matematického popisu je vybrána například definici dle (BOLCH aj. 2006).

Pro výše uvedeném rozdělení můžeme říci, že pro obecné $X_n = i$, kde $n \in R$ reprezentuje časový okamžik platí, že proces nacházející se ve stavu i s pravděpodobností P_{ij} přejde do stavu j . Matematicky tedy:

$$P\{X_{n+1} = j | X_n = i, \dots, X_1 = i_1 | X_0 = i_0\} = P_{ij} \quad (28)$$

Což vzhledem k nezápornosti pravděpodobnosti platí pro: $n \geq 0; i, j \geq 0; P_{ij} \geq 0; \sum_{i=0}^n P_{ij} = 1$. O Markovově procesu se také uvádí, že budoucí stav je určen pouze hodnotou současnosti a nezáleží na minulosti.

5.3.7 Poissonovo a Exponenciální rozdělení

Náhodný proces, u něž je možné přejít pouze do nejbližšího vyššího stavu je tzv. Poissonovým procesem. Poissonův proces vyjadřuje například pravděpodobnost jistého počtu událostí, které se odehrají během fixního časového intervalu, známe-li intenzitu výskytů těchto událostí a je-li tento počet nezávislý na délce časového intervalu (ZUKERMAN 2010). Typickou praktickou aplikací je modelování přirozených jevů, které nastávají vícekrát během definovaného časového intervalu, a to za určitých předpokladů. Příkladem budiž příchod zákazníků k bankomatu během jedné hodiny. Toto je důvod, proč je nečastějším použitým rozdělením v teorii hromadné obsluhy pro modelování počtu zákazníků do systému právě Poissonovo rozdělení (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982).

Pro bližší matematické vyjádření opět využijeme (BOLCH aj. 2006), kde předpokládáme, že v krátkém časovém intervalu $(t; t + \Delta t)$ nastane právě jedna událost s pravděpodobností $\lambda \Delta t + o(\Delta t)$ a více než jedna s pravděpodobností $o(\Delta t)$, to vše nezávisle na hodnotě času t a počtu událostí, které nastaly do času t , čili v intervalu $(0; t)$. Pokud tedy náhodná veličina X_t bude počtem vyskytujících se určitých událostí (například příchodů k bankomatu) v časovém intervalu $(0; t)$, pak $\{X_t\}$ pro $t \geq 0$ je spočetný Markovův proces s množinou stavů $S = \{0, 1, 2, \dots\}$ a s počátečním rozdělením $p_0(0) = 1$ a $p_i(0) = 0$ pro stav $i = 0$. Poissonův proces se proto používá pro modelování příchodů zákazníků do SHO (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982). Mezi jeho charakteristické znaky dále patří:

- Nezávislost – počet jevů vyskytujících se v určitém časovém intervalu není odvislý od počtu jevů, které nastaly v jiném časovém intervalu

Intenzity pravděpodobnosti přechodu nezávisí na čase.

$$\begin{aligned}\mu_{ij} &= \lambda \quad \text{pro } j = i + 1 \\ \mu_{ij} &= 0 \quad \text{pro } j \neq i, j \neq i + 1 \\ \mu_{ij} &= -\lambda \quad \text{pro } j = i\end{aligned}\tag{29}$$

Je-li změna času Δ dostatečně malá a hodnota λ konstantní, můžeme říci, že je pravděpodobnost přechodu ze stavu S_n do stavu S_{n+1} v časovém intervalu $(t; t + \Delta t)$, pak:

$$P_{S_n, S_{n+1}}(t; t + \Delta t) = \lambda \Delta t + o(\Delta t)\tag{30}$$

Vztah (6) ukazuje pravděpodobnost setrvání ve výchozím stavu S_n .

$$P_{S_n, S_n}(t; t + \Delta t) = 1 - \lambda \Delta t + o(\Delta t)\tag{31}$$

Dle (BOLCH aj. 2006) zbývá doplnit pravděpodobnost ostatních přechodů do stavů S_{n+2} a vyšších, kterou autor označuje za zanedbatelnou.

$$\sum_{S_{n+2}}^{\infty} P_{S_n, S_{n+2}}(t; t + \Delta t) = o(\Delta t)\tag{32}$$

Druhým nejpoužívanějším rozdělením v souvislosti s teorií hromadné obsluhy, které slouží k modelování intervalu mezi příchody zákazníků, je Exponenciální rozdělení. Autoři (LUKÁŠ 2009), (KLVAŇA 2005) shodně uvádějí, že má-li diskrétní náhodná veličina X Poissonovo rozdělení s parametrem $\lambda > 0$, pak platí:

$$P_x = P(X = x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} \quad \text{pro } x = 0, 1, 2, \dots\tag{33}$$

Hodnota distribuční funkce $F(x)$ poté odpovídá výrazu:

$$F(x) = \sum_{k < x} P_k\tag{34}$$

Střední hodnota $E(X)$ a rozptyl $D^2(X)$ takto definované náhodné veličiny s Poissonovým rozdělením poté odpovídají výrazům:

$$E(X) = \lambda; D^2(X) = \lambda \quad (35)$$

Má-li spojitá náhodná veličina X Exponenciální rozdělení s parametrem $\lambda > 0$, pak platí:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \lambda e^{-\lambda x}, & x > 0 \end{cases} \quad (36)$$

Hodnota distribuční funkce $F(x)$ poté odpovídá výrazu:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-\lambda x}, & x > 0 \end{cases} \quad (37)$$

Střední hodnota $E(X)$ a rozptyl $D^2(X)$ takto definované náhodné veličiny s Exponenciálním rozdělením poté odpovídají výrazům:

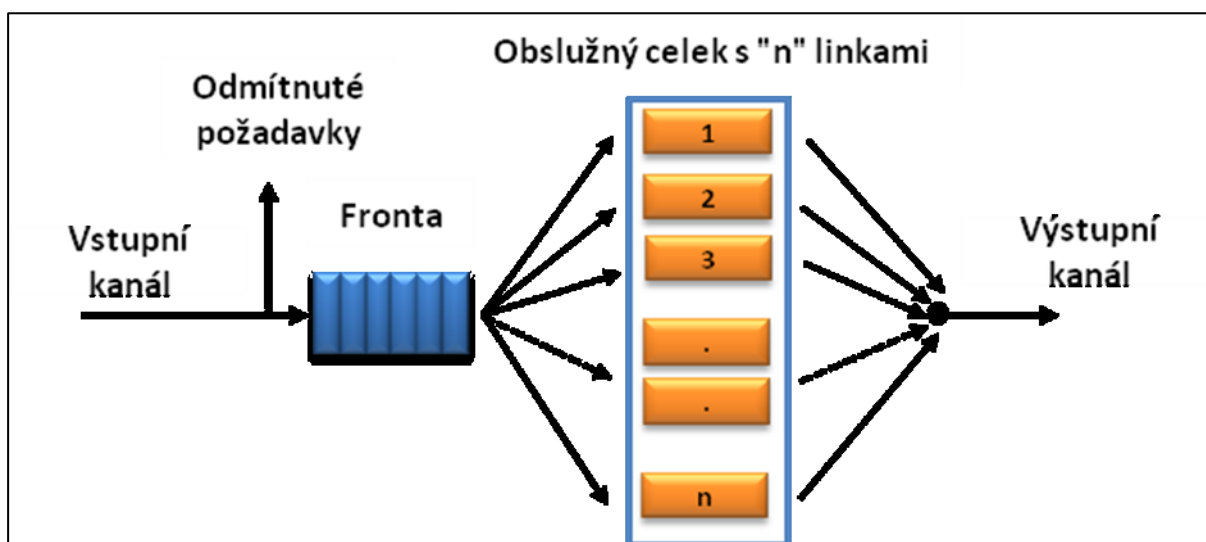
$$E(X) = \frac{1}{\lambda}; D^2(X) = \frac{1}{\lambda^2} \quad (38)$$

5.3.8 Vybrané systémy teorie hromadné obsluhy

V návaznosti na úvod kapitoly 5.3 budou dále podány další informace týkající se teorie hromadné obsluhy. Pro matematické modelování systému hromadné obsluhy je nutno mít k dispozici:

- Informace o pravděpodobnostním charakteru vstupního toku požadavků
- Informace o pravděpodobnostním charakteru doby obsluhy
- Informace o počtu obslužných linek
- Informace o chování SHO v případě, že jsou všechny obslužné linky obsazeny

Pro úplnost je jako Obrázek č.5 uvedeno blokové schéma obecného SHO.



Obr. 5 – Blokové schéma n linkového obecného SHO (HOLÍK 2009)

Jsou-li známy výše uvedené základní informace o zkoumaném SHO, jsou podle způsobu řešení tyto systémy dále děleny dle Kendallové klasifikace SHO. Kendallová klasifikace se v základním tvaru skládá ze tří zástupných písmen (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982), pro úplný výčet možností značení, který je průnikem odborných zdrojů použijeme pro vysvětlení 6 zástupných znaků **A/B/C/D/E/F**, jejichž význam je uveden v odrážkách na následující straně.

- A – charakterizuje vstupní tok, označuje rozdělení intervalů mezi příchody požadavků do systému
- B – charakterizuje pravděpodobnostní rozdělení dob trvání obsluhy, zástupné symboly A i B mohou nabývat různých znakových hodnot:
 - D – deterministický proud vstupních požadavků, tj. příchody jsou konstantní
 - M – Poissonův proces příchodu, exponenciální rozdělení intervalů mezi příchody
 - E_k – Erlangovo k -fázové rozdělení intervalů mezi příchody
 - G – obecné rozdělení, doba mezi příchody je dána svou distribuční funkcí
- C – počet paralelně uspořádaných obslužných míst
- D – kapacita, tj. celkový počet míst v systému (předpokladem je ∞ počet míst, tedy neomezená kapacita systému)
- E – početnost zdroje požadavků, není-li dána, předpokládá se, že je ∞ a jde o tzv. otevřený systém. V opačném případě, je-li dána konečným číslem, pak jde o uzavřený neboli cyklický systém
- F – frontový režim (FIFO, LIFO, ...)

Nejjednodušší označení SHO je složeno ze tří zástupných znaků A/B/C, které odpovídá modelu M/M/1 (LUKÁŠ 2009), (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982). Jestliže nejsou uvedeny další symboly, předpokládá se, že zástupné znaky D a E nabývají ∞ a zástupný znak F charakterizuje frontový režim FIFO, tj. pořadí, v jakém se požadavky nashromáždily do fronty.

5.3.9 Analytické řešení SHO

V následující kapitole bude podáno vysvětlení a ukázka analytického řešení vybraného systému hromadné obsluhy. Podstatou analytického řešení je tedy sestavení matematického modelu tvořeného soustavou diferenciálních rovnic a její následné vyřešení spočívající ve výpočtu hodnot pravděpodobností jednotlivých stavů systému ve stabilizovaném stavu, pomocí nichž lze následně odvodit vztahy pro výpočet provozních charakteristik systému.

Z hlediska Kendallové klasifikace je při hledání řešení dále rozpracován v předložené práci základní model SHO, a to ve tvaru M/M/n. Rozdělení vstupního toku se dle tohoto označení řídí Poissonovým počtem výskytů požadavků za časovou jednotku a exponenciálním rozdělením intervalů mezi těmito příchody. Doba obsluhy má dle tohoto označení rovněž exponenciální rozdělení. Modelujeme-li SHO, reprezentuje hodnota λ střední počet vstupujících požadavků do systému za časovou jednotku. Hodnota pravděpodobnosti, že se na vstupu objeví požadavek za časový interval Δt je rovna $\lambda \Delta t$. Doba obsluhy se řídí exponenciálním rozdělením s parametrem μ . Tento parametr určuje střední počet požadavků, které je linka schopna obsloužit za časovou jednotku. Platí tedy, že požadavek bude obsloužen za časový interval Δt s pravděpodobností $\mu \Delta t$. Předpokladem tedy také zůstává, že požadavky vybíráme z fronty v režimu FIFO.

Pro rozpracování byl zvolen Markovův systém, které nejvíce připomíná problém deklarovaný v této práci, a sice SHO s neomezenou délkou fronty. Systém s neomezenou délkou fronty se vyznačuje nekonečným počtem stavů systému. Jde o systém, který má konečný počet obslužných linek n

a umožňuje vznik nekonečně dlouhé fronty požadavků čekajících na zpracování. Důležitým parametrem pro SHO s neomezenou délkou fronty je intenzita provozu, jejíž hodnota je stanovena vztahem:

$$\rho = \frac{\lambda}{n\mu} [-] \quad (39)$$

Pro vztah (39) poté platí, že λ označuje střední počet příchozích požadavků za hodinu, výraz $\frac{1}{\mu}$ označuje střední dobu trvání obsluhy a parametr n značí počet obslužných linek v SHO.

Hodnota intenzity provozu zkoumaného SHO je důležitá z hlediska nutnosti jeho stabilizace. U SHO s neomezenou délkou fronty je nutno stabilitu vždy ověřit. Vyjde-li hodnota $\rho \geq 1$, je systém z dlouhodobého hlediska nestabilní. V tomto případě bude fronta požadavků čekajících na obsluhu neustále narůstat. Systém je tedy ve stavu, kdy je neschopen obsloužit počet požadavků, který do systému za časovou jednotku průměrně vstoupí. Takový systém je z hlediska praktického použití nevyhovující. Stabilní systém je tedy takový systém, do něhož za definovanou časovou jednotku průměrně vstoupí méně požadavků, než je systém schopen průměrně za danou časovou jednotku obsloužit. Tyto systémy také připadají v úvahu v případě praktického využití cíle práce. Pro každý z výše zmíněných SHO existují z hlediska analytického řešení již odvozené rekurentní vzorce pro výpočet pravděpodobností jednotlivých stavů systému. Na základě známých pravděpodobností jednotlivých stavů lze následně určit provozní charakteristiky zkoumaného systému. Z odvozených provozních charakteristik se v závislosti na typu daného systému nejčastěji používají:

- Střední počet zákazníků v systému – EK
- Střední počet zákazníků v obsluze – ES
- Střední počet zákazníků ve frontě – EL
- Pravděpodobnost, že bude zákazník po příchodu do systému odmítnut - P_{odm}
- Střední doba čekání zákazníka ve frontě – EW
- Střední doba pobytu zákazníka v systému – ER
- Využití systému – κ

Pro určení výše definovaných provozních charakteristik systému se použijí následující vztahy dle (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982):

Rekurentní vzorec pro výpočet pravděpodobnosti P_k , kde $k = 1, \dots, n$

$$P_k = \frac{\lambda}{k\mu} P_{k-1} \quad [-] \quad (40)$$

Rekurentní vzorec pro výpočet pravděpodobnosti P_k , kde $k = n + 1, \dots$

$$P_k = \frac{\lambda}{n\mu} P_{k-1} \quad [-] \quad (41)$$

Upravený vzorec pro výpočet pravděpodobnosti P_k pomocí P_0 , kde $k = 1, \dots, n$

$$P_k = \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k P_0 \quad [-] \quad (42)$$

Upravený vzorec pro výpočet pravděpodobnosti P_k pomocí P_0 , kde $k = n + 1, \dots$

$$P_k = \frac{1}{n!n^{k-n}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k P_0 \quad [-] \quad (43)$$

Výpočet pravděpodobnosti P_0

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k + \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{n\mu}{n\mu - \lambda}} [-] \quad (44)$$

Střední počet zákazníků v obsluze ES

$$ES = \frac{\lambda}{\mu} [-] \quad (45)$$

Střední počet zákazníků ve frontě EL

$$EL = \frac{\rho}{(1-\rho)^2} P_n [-] \quad (46)$$

Střední počet zákazníků v systému EK

$$EK = ES + EL [-] \quad (47)$$

Střední doba čekání zákazníka ve frontě EW

$$EW = \frac{P}{n\mu - \lambda} [\text{hod}] \quad (48)$$

Symbol P představuje pravděpodobnost, že příchozí zákazník bude muset na obsluhu čekat. Tato pravděpodobnost se vypočte dle vztahu:

$$P = \frac{1}{(1-\rho)} P_n [-] \quad (49)$$

Střední doba pobytu zákazníka v systému ER

$$ER = EW + \frac{1}{\mu} [\text{hod}] \quad (50)$$

Zjednodušením v rámci tohoto typu SHO je skutečnost, že pravděpodobnost odmítnutí zákazníka je rovna nule ($P_{odm} = 0$). Dále je důležitý vztah pro výpočet využití systému κ .

$$\kappa = \frac{ES}{n} 100 [\%] \quad (51)$$

V rámci této demonstrace byl vybrán takový model SHO k rozboru, u něhož existuje analytické řešení a existuje tedy možnost, že by pomocí něhož bylo možno řešit i komplexní systém výrobní a zásobovací logistiky. Autor (KOŘENÁŘ 2010) rozšiřuje použití analytických modelů o možnost jejich optimalizace díky nákladově orientované kritériální funkci. Jedná se tedy o formu optimalizace SHO. Abychom systém mohli optimalizovat, je nutné mít možnost ovlivnit některé jeho prvky a současně s tím i základní charakteristiky efektivnosti. Vedle toho ještě předpokládáme, že můžeme explicitně formulovat kvantitativní kritériální funkci, která vyjadřuje jistý zamýšlený cíl. Budeme-li uvažovat o jednoduchém exponenciálním modelu, zjistíme, že snižováním hodnoty intenzity obsluhy bude narůstat fronta, průměrný čas ve frontě se prodlouží a může docházet ke ztrátám díky možnému přechodu do stavu nestability. Jestliže hodnoty intenzity obsluhy příliš zvýšíme, bude docházet k prostojům obslužných linek. V praxi tedy v podstatě vznikají náklady na provoz, ale bezprostředně jim neodpovídají žádné tržby.

Z pohledu zákazníka reálného systému je důraz kladen na zkrácení čekací doby, avšak z pohledu provozovatele systému, na něhož je cíl práce orientován, je důležité mít co nejmenší ztráty, případně optimalizovat vytížení a počet obslužných linek. V rozhodovacích úlohách je tedy nutné najít kompromis, který bude vyhovovat oběma stranám. Kritériální funkce může tedy být orientována nákladově, ziskově nebo tak, že kritérium bude představovat kritickou hodnotu některé ze základních

charakteristik efektivnosti systému obsluhy, kterou nelze překročit (např. omezení průměrné čekací doby, průměrné využití či prostoje obslužných kanálů). Jestliže cílem optimalizace je dosažení minima očekávaných celkových nákladů na provoz SHO, pak kritériální funkce zpravidla zahrnuje následující druhy ztrát (KOŘENÁŘ 2010):

- Náklady prostoje obslužné linky v hodnotovém vyjádření vztažené na jednotku času
- Náklady čekání na obsluhu, popř. náklady setrvání požadavku v systému, vztažené na jeden požadavek za jednotku času
- Náklady na obsluhu jednoho požadavku za časovou jednotku
- Náklady vyvolané ztrátou jednoho požadavku v SHO se ztrátami

V případě stabilizovaného exponenciálního systému M/M/n můžeme vyjádřit kritériální funkci dle (KOŘENÁŘ 2010) takto:

$$N(S) = c_n N_f + c_z U \quad (52)$$

kde c_n značí hodnotově vyjádřené náklady čekání jednoho požadavku na obsluhu za zvolenou časovou jednotku, c_z značí ztráty v peněžních jednotkách vznikající v důsledku nevyužití jednoho zařízení obsluhy za jednotku času, N_f reprezentuje průměrnou délku fronty a proměnná U reprezentuje průměrný počet nevyužitých zařízení obsluhy. Na nákladovou kritériální funkci lze také pohlížet tak, že při konstantních c_n a c_z závisí zcela na počtu zařízení obsluhy, případně na provozních podmínkách systému. Analytické metody řešení úloh teorie hromadné obsluhy sice nabízejí dosažitelná řešení, jsou však omezené soustavou předpokladů a omezení. Pro komplexní úlohu, která je podstatou cíle této práce, jsou použitelné jen velmi stěží. Nabízejí se však další přístupy k řešení, kterých je možno pro komplexní zadání využít.

5.4 Softwarová simulace

Simulační přístupy nacházejí své uplatnění zejména v situacích, kdy analytické metody z různých důvodů selhávají. Simulační metody ať už primitivní či s využitím špičkových univerzálních nástrojů jako jsou například Witness, Simul8 či Plant Simulation, nabízejí v otázkách složitých a komplexních systému nalezení možného řešení. Zmíněné simulační nástroje zmiňují také zahraniční autoři, např. (SEMANCO a MARTON 2013). Díky nim je možné sestavit v maximální možné míře přesný model zkoumaného systému a vyhodnotit požadované parametry na základě nichž jsou zpravidla formulována určitá rozhodnutí. Vysoká variabilita parametrů, které je možné simulačnímu modelu zadat a také spektrum výsledků a informací, které můžeme o simulovaném systému díky simulaci získat, jsou dalšími aspekty, které tuto metodu řešení vyzdvihují, a to zejména v případech, není-li daný systém (tedy i SHO) řešitelný analyticky.

Další nespornou výhodou, kterou lze ve využití simulačních metod spatřit je skutečnost, že vynikají svou rychlostí a poměrně rychlou možností provedení změny do namodelovaného systému. Tyto aspekty mohou být u analytických modelů, byť softwarově zpracovávaných, problémové. O použitelnosti simulačních metod na problematiku systémů hromadné obsluhy svědčí také tvrzení dle (KLVAŇA 2005) či srovnání vybraného simulačního nástroje Witness s analytickými modely SHO (HOLÍK 2009). Autor (KLVAŇA 2005) díky svým simulačním experimentům dále konstatuje, že simulační metody jsou dnes poměrně běžným a rozšířeným způsobem řešení úloh v oblasti obslužných systémů, což mimo jiné dokazuje i množství nejrozličnějších software pro objektovou či strukturální simulaci. Obdobným tvrzením hodnotí část svých experimentů také kolektiv autorů (BOLCH aj. 2006). Zkoumaný systém, jež je předmětem této práce je složitý, ale princip řešení pomocí softwarové simulace je dnes používán i na daleko jednodušší úlohy.

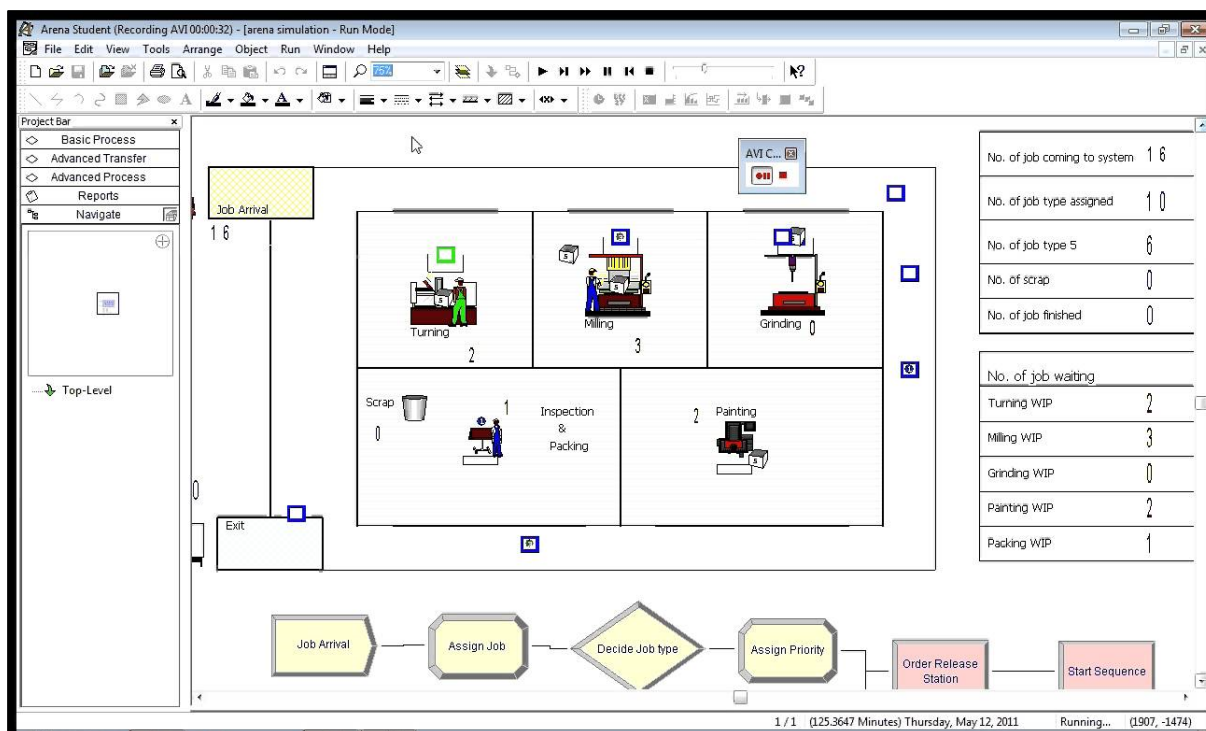
5.4.1 Simulační software

Simulační software pro diskrétní dynamické systémy pracuje na principu předpovědi chování simulovaného systému díky předem nastaveným podmínkám a pravidlům. V rámci simulace sledujeme namísto chování nějakého námi zkoumaného systému či objektu a jeho reakcí na prováděné změny, chování jeho modelu. Sledovaným systémem (objektem) může být například již mnohokrát zmíněný SHO, sklad, tok informací apod. Pozorování modelu jako postup práce při navrhování řešení určitého problému v sobě skrývá také jisté výhody. Můžeme například vytvářet modely dosud neproověřených systémů a následně navrhnout takový systém, který svým chováním co nejlépe odpovídá požadavkům řešitele.

Dnešní špičkové simulační nástroje dokáží namodelovat, bez nadsázky, jakýkoliv proces a některé, dokonce včetně 3D vizualizace. V závislosti na cílech vytváří uživatel simulační model, jež je věrohodným obrazem zkoumaného systému a se zvolenou mírou detailního zkoumání vyhodnocuje potřebné ukazatele stavu či výkonosti. Mezi typické ukazatele výkonosti patří obdobně jako u SHO využití systému, míra prostojů, výše produkce a jiné. Mezi výhody využívání simulačního software patří jednoduché grafické ovládání, intuitivní navigace v programu a přehledná prezentace výsledků. Výsledky jsou zpravidla doprovázeny vhodně zvolenými grafy, jejich volba ale zůstává na uživateli. Mezi nevýhody, které lze obecně simulačním software přiřknout patří jejich vysoká pořizovací cena. Mezi vybraná simulační prostřední, která budou v rámci této práce blíže popsána patří Arena, Simul8, Plant Simulation či software britské společnosti Lanner Group s názvem Witness. Cílem jejich bližšího popisu je výběr jednoho z nich pro použití při stavbě parametrizovatelného simulačního modelu, jež by byl obrazem zkoumaného komplexního systému výrobní a zásobovací logistiky.

5.4.2 Simulační software Arena

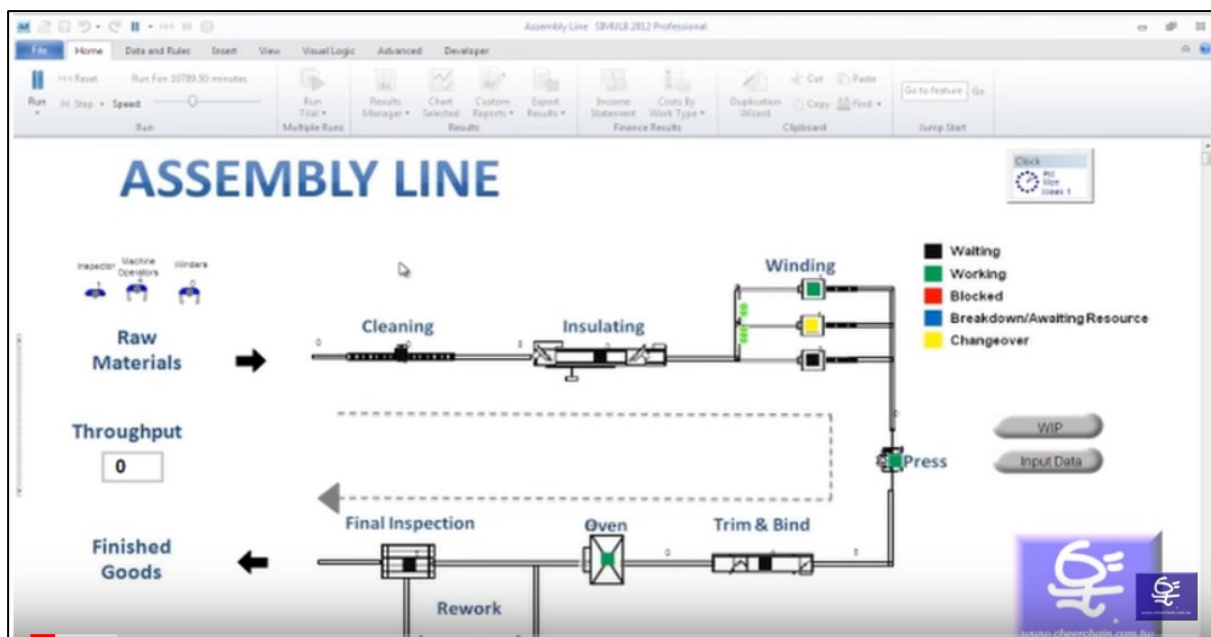
Na základě vědeckých článků (VIEIRA 2004) a (GARRIDO 2009) panuje shoda, že nástroj Arena je jednoduchý objektově orientovaný simulační software, který lze použít pro simulaci obslužných procesů. Model se vytváří pomocí umístění jednotlivých ikon funkčních elementů na pracovní plochu programu a pomocí grafického propojení těchto elementů či seskupených bloků těchto elementů uživatel definuje potřebné vztahy mezi nimi. Jakožto u většiny simulačních software se jedná o diskrétní simulaci, a tak jsou zde pro generování náhodných čísel použity přednastavené číselné sekvence – tzv. pseudonáhodná čísla, anebo si uživatel může sekvenci sám naprogramovat. Všechny distribuce programu generují čísla pomocí rovnoměrného rozložení z rozsahu 0 až 1. V (GARRIDO 2009) také můžeme najít srovnávací příklad použití SW Arena pro simulaci základního systému hromadné obsluhy – model mycí linky aut. Autor v závěru poukazuje na výstupy, které Arena generuje formou předpřipravených sestav, což může ztížit jejich další zpracování. Náhled pracovního prostřední programu je uveden jako obrázek č.6.



Obr. 6 – Pracovní prostředí simulačního software Arena (Simulation With Arena Part 1 – Introduction 2014)

5.4.3 Simulační software Simul8

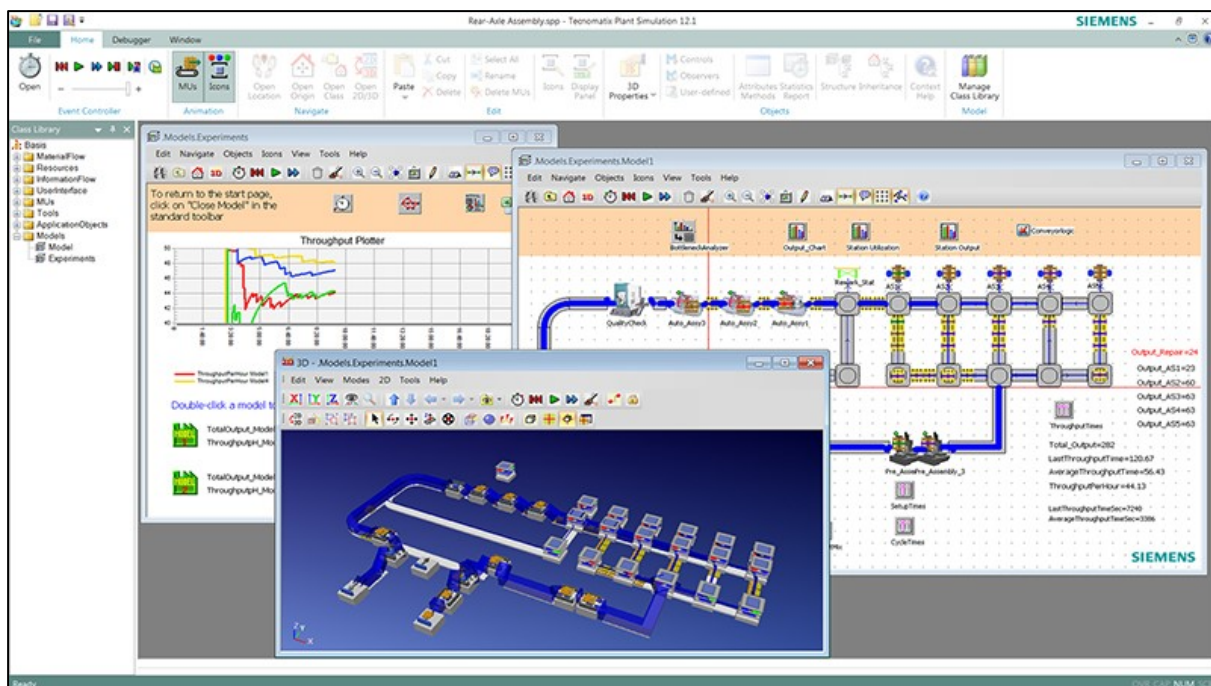
Dalším zástupcem početné rodiny simulačních softwarových nástrojů, které byly aplikovány na úlohy obslužných procesů je produkt Simul8. Zdroj (BOHÁCS aj. 2013) popisuje Simul8 jako nástroj, který umožní vytvářet modely přímým umístěním vybraných objektů na pracovní plochu. Typickými objekty jsou obslužný člen a fronta. Jako hlavní vlastnosti, které (BOHÁCS aj. 2013) uvádí pro nastavení u vybraných objektů jsou zejména kapacita či rychlost. Jako hodnotící prvky simulovaného systému používá program Simul8 statistické výstupy, které lze porovnávat s charakteristikami reálného systému. V uvedené případové studii, která je součástí (BOHÁCS aj. 2013) je dobře popsána možnost vytvářet moduly složené s více propojených objektů. Nástroj umožňuje také některé vlastnosti objektům naprogramovat pomocí implementovaného programovacího jazyka, což činí z nástroje Simul8 velmi silný a zároveň univerzální nástroj. Nechybí také vazba na načítání a export dat do tabulkového editoru. Zde je vhodné konstatovat, že tyto vlastnosti by nástroj pro řešení cíle práce rozhodně neměl postrádat. Na základě případové studie i zacílení programu, které je detailně popsáno v (BOHÁCS 2013), je Simul8 právem označován za univerzální simulační nástroj. Další průkaznou aplikací tohoto programu je například (BANGSOW 2010). Náhled pracovního prostředí tohoto nástroje je uvedeno jako obrázek č.7.



Obr. 7 – Pracovní prostředí simulačního software Simul8
(SIMUL8 Assembly Line Demonstration 2013)

5.4.4 Simulační software Plant Simulation

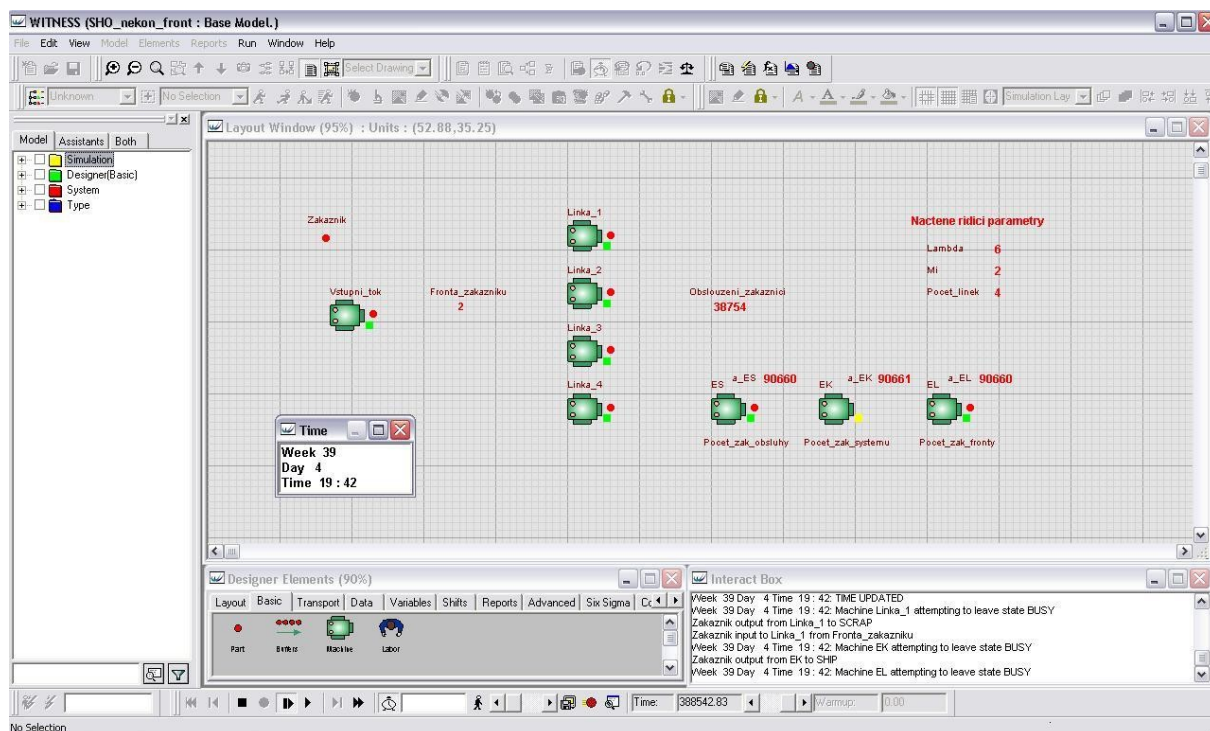
Vizuálně velice podobným nástrojem jako Simul8 je i v této podkapitole popisovaný Plant Simulation, jež je produktem divize PLM společnosti Siemens. Konceptně je simulační prostředí konstruováno opět jako disktrétní objektová simulace s možností přiřadit vloženým funkčním objektům naprogramované vlastnosti. Tento simulační software umožňuje využít také rozšířeného „Advanced“ módu, ve kterém je znalý uživatel schopen mnohé vazby programovat sám a tím využít naplno sílu tohoto nástroje. Oproti předchozím využívá Plant Simulation hierarchickou strukturu umístění použitých objektů pro stavbu modelu, čímž je jejich vyhledávání a adresace výrazně zjednodušená. V tomto nástroji je také dle (SIEMENS PLM SOFTWARE Inc. 2009) možno využít funkcionalitu nastavení servisních i poruchových časů pro konkrétní objekt, jež vykonává určitou činnost. Mezi běžně editovatelné vlastnosti funkčních elementů dále patří kapacita, programovatelná blokace, frontový režim, či režim bez fronty a mnohé další, které rovněž z tohoto nástroje právem dělají univerzální nástroj. Zdroj (KLIMENT aj. 2014) dále dodává, že implementace programovacího jazyka do simulačního software je jeho nezbytnou součástí. Uvádí také, že v současnosti vzrůstá tlak na 3D vizualizaci modelů, což však rozděluje uživatele modelu na dva tábory. Jedni více důvěřují modelu právě díky jeho lepší vizualizaci a vysoké grafické podobnosti s řešeným systémem a druhí zvýšený tlak na vizualizaci nevyžadují, neboť je zajímavější hlavně statistické výstupy z modelu ve formě čísel, matic či grafů. Prostředí simulačního nástroje Plant Simulation je k nahlédnutí jako obrázek č. 8.



Obr. 8 – Pracovní prostředí simulačního software Plant Simulation (SIEMENS PLM SOFTWARE Inc. 2017)

5.4.5 Simulační software Witness

Nástroj Witness je charakterizován jako software pro simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů britské společnosti Lanner Group Ltd (LANNER GROUP LTD 2000). Witness je dle (LANNER GROUP LTD 2013) také vnímán jako prediktivní technologie pro podporu rozhodování. Z hlediska struktury prováděných simulačních experimentů je tedy obdobně jako popisované konkurenční produkty zaměřen na diskrétní objektovou simulaci. Společně s ostatními zmíněnými nástroji se také vyznačuje tím, že může být obecně použit k analýze jakéhokoliv procesu, v němž je potřeba prověřit dopady navržených změn a podloženě tak kvantifikovat alternativy řešení (DYNAMIC FUTURE 2016). Velkou výhodou je zde rovněž možnost interaktivní práce s modelem, a to zejména v průběhu simulace. Náhled simulačního prostředí nástroje Witness zobrazuje obrázek č.9.



Obr. 9 – Pracovní prostředí simulačního software Witness (HOLÍK 2009)

Samotné pracovní prostředí odpovídá standardu běžnému u Windows, tudíž veškeré potřebné menu (nabídky se záložkami) jsou intuitivně umístěny pod horní lištou obrazovky. Mezi standardy Windows patří také tzv. „Toolbars“, které je možno ve Witnessu také nalézt. Volbu akcí a funkcí, které budou takto zobrazeny na liště je možno měnit v příslušném nastavení (nabídce). Simulační modely programu Witness umožňují dynamicky zobrazovat pohyb materiálu či zákazníků systémem, stavy jednotlivých prvků, prováděné operace a aktuální využití zdrojů. V simulačním čase jsou zaznamenávány všechny události, které v modelu nastaly. Uživatel tak může sledovat dynamiku simulovaného systému (objektu) a má k dispozici rovněž údaje potřebné k vyhodnocení daného procesu (objektu) podle zvolených kritérií. Každý element se tedy vyznačuje specifickou škálou statistických ukazatelů, které jsou uživateli k dispozici. Vhodnou volbou elementů k namodelování určitého procesu tak docílíme i požadovaných statistických ukazatelů zkoumaného systému (objektu). Witness také umožňuje provádět analýzu typu "what-if", tj. analýzu, která využívá metodiky porovnávající dopady jednotlivých návrhů řešení navzájem (MANAGEMENTMANIA.COM 2011). V praxi si tuto analýzu lze představit tak, že v libovolném čase lze simulaci zastavit, změnit parametry systému jako jsou například: velikosti zásobníků, počet pracovníků na směně nebo směrování materiálu a poté v simulaci pokračovat, přičemž lze ihned sledovat důsledky provedených změn. Dříve než se v práci budeme zabývat výběrem vhodného simulačního nástroje, je vhodné se z teoretického hlediska podívat na přístupy ke sběru dat, potřebných pro simulační experimenty. Této oblasti je věnována následující podkapitola 5.5.

5.5 Teorie technik o sběru dat pro potřeby simulačních modelů

Základní techniky pro sběr dat a informací jsou oblastí, kterou je možné nalézt v mnoha jiných odvětvích lidské činnosti ale i studijních částí mnoha oborů. Jedná se především o oblasti managementu, sociologie, průmyslového inženýrství, řízení a marketingu. Výskyt těchto technik, jakožto zdroje kvalitních informací například v oblasti průmyslového inženýrství či managementu není náhodný, neboť samo průmyslové inženýrství je dle (API 2012) charakterizováno jako kombinace

inženýrských znalostí a poznatků z podnikového řízení pro podporu zvyšování konkurenceschopnosti a efektivity procesů. Teoretická základ těchto technik vychází z oblasti kvalitativního, kvantitativního a smíšeného výzkumu (HENDL 2005) vědního oboru zvaného metodologie. Dle této publikace je moderním trendem právě onen smíšený přístup, který je kombinací kvalitativního a kvantitativního výzkumu. Rovněž je zde možno nalézt odkaz na autory, kteří se věnují jednotlivým oblastem odděleně například (FERJENČÍK 2010) či ze zahraničních autorů (CRESWELL 2009).

Podstatou kvantitativního přístupu k výzkumu dle (HENDL 2005) je představa, že lidské chování můžeme do jisté míry měřit a předpovídat. Využíváme u toho náhodné výběry, experimenty a silně strukturovaný sběr dat. Nejčastějšími metodami sběru dat jsou v tomto případě dle (HENDL 2005) pozorování, testy či dotazníky. Získaná data jsou následně statisticky zpracována s cílem ověřit vazby sledovaných veličin či proměnných. Literatura rovněž uvádí, že kvantitativně zaměřený výzkum bývá velice dobře předem připraven do nejmenších detailů a má zpravidla dvě podoby, a sice experimentální a neexperimentální (HENDL 2005). Literatura rovněž uvádí srovnávací tabulku základních vlastností metod kvantitativního přístupu, která je umístěna dále jako tabulka č. 3. Nevýhodou kvantitativního přístupu k výzkumu může být jeho omezení či selekce při analýze dat.

Experimentální část navozuje cíleně změnu situace tak, aby bylo možno usuzovat zpravidla na chování sledovaných jedinců – vzorků, proměnných (z pohledu zkoumané populace).

Neexperimentální část neuplatňuje změnu situace a snaží se usuzovat na chování jedinců ve více výběrových skupinách – skupiny vzorků, proměnných.

Tab. 3 – Základní vlastnosti metod kvantitativního přístupu k výzkumu (HENDL 2005)

Metody	Vlastnost	Výhody
statistické šetření	náhodný výběr - měření proměnných	reprezentativní vzorek dat, test hypotéz
experiment	určení hodnot nezávislé proměnné	přesné měření, test hypotéz
oficiální statistiky	analýza dat získaných v minulosti	velké datové soubory
strukturované pozorování	pozorování dle přesně určeného protokolu	spolehlivost pozorování
obsahová analýza	četnosti výskytu kategorických vlastností dle jejich přesné definice	spolehlivost měření

Kvalitativní přístup k výzkumu se vyznačuje dle (HENDL 2005) tím, že výzkumník určí otázky, jež jsou předmětem zkoumání, ale zároveň je připraven na to, že v průběhu výzkumu se může směr jeho bádání měnit, a to právě na základě získaných informací – analogie s přechodem k deterministickému vnímání procesu dle (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982). Výzkumník na základě rozkrývání odpovědí na výzkumné otázky volí další (nové) otázky, ale také například místo zkoumání jedince, či jevu v terénu. Po získání určitého objemu dat se výzkumník zamýšlí nad potřebností všech z nich a případně některé vyřadí či provádí výzkum jinými otázkami znovu. Tento krok je zařazen z toho důvodu, aby své domněnky a analýzy potvrdil – de facto tím získaná data přezkoumává.

Literatura i zde uvádí srovnávací tabulku základních vlastností metod kvalitativního přístupu, která je v práci prezentována jako tabulka č. 4. Za nevýhodu kvalitativního přístupu k výzkumu je považována možnost provádění kvantitativních predikcí a snáze ovlivnitelné výsledky zaujatostí výzkumníka.

Tab. 4 – Základní vlastnosti metod kvalitativního přístupu k výzkumu (HENDL 2005)

Metody	Vlastnost	Výhody
pozorování	delší doba kontaktu a pozorování	pochopení zkoumaného
zkoumání textu a dokumentů	rozbor významu, organizace a použití	teoretické porozumění
interview	nebývá zpravidla strukturované	porozumění zkušeností
audio a videozáznamy	přesná transkripce přirozených vazeb	porozumění průběhu vazeb

Smíšený přístup k výzkumu, jak už název napovídá je, kombinací obou výše zmíněných přístupů s cílem využít kombinace dostupných metod pro postihnutí cíle výzkumu v maximální možné míře. V současné době se jedná o nejvyužívanější koncept z výše uvedených tří.

Teoretický základ, jak je uveden výše, nabízí větší množství vědecko-sociologicky uznávaných technických přístupů k provádění výzkumu v oblasti sběru dat. Z pohledu praktického využití těchto znalostí výzkumníci často v současné době využívají právě posledně zmíněný smíšený přístup. Důkazem může být například výpis nejpoužívanějších metod ke sběru dat dle (KISK FF MU 2012) či tematicky z úplně jiné oblasti dle (FOCUS AGENCY s.r.o. 2009). Oba zdroje, ostatně jako přístupy popisované z oblasti průmyslového inženýrství (API 2012), se shodují na níže uvedených nejčastějších metodách. Proto jsou tyto metody podrobněji rozepsány a následně jsou uvedeny konkrétní aplikace, které z nich vycházejí.

- Pozorování
- Analýza dokumentů a dat
- Dotazování

5.5.1 Pozorování

Metoda pozorování je technika, u které je nutné mít na paměti, že existuje rozdíl mezi tím, co lidé říkají a tím, co skutečně dělají. Z tohoto důvodu je možné tuto metodu rozdělit do dvou podkategorií, a sice na metodu pozorování zúčastněného a pozorování nezúčastněného (KISK FF MU 2012). Oba přístupy této metody umožňují analyzovat reálné situace, jevy a vazby, které není možné zjistit například dotazováním v jakékoli podobě. Dle (KISK FF MU 2012) jsou druhy pozorování charakterizovány takto:

- Zúčastněné pozorování: pozorovatel je jedním z aktérů procesu či jevu, který zkoumá (Např.: Jsem řidič - pozorovatel a sám si trasu, jejíž délku zkoumám, projedu autem)
- Nezúčastněné pozorování: pozorovatel s odstupem nezaujatě sleduje proces či jev, který zkoumá v jeho přirozeném prostředí (Např.: Jsem pozorovatel a s dálky zkoumám pracovníka obsluhy vysokozdvížného vozíku při provádění vykládky nákladního automobilu)

Mezi zásady, jak úspěšně vést pozorování, patří následující podmínky:

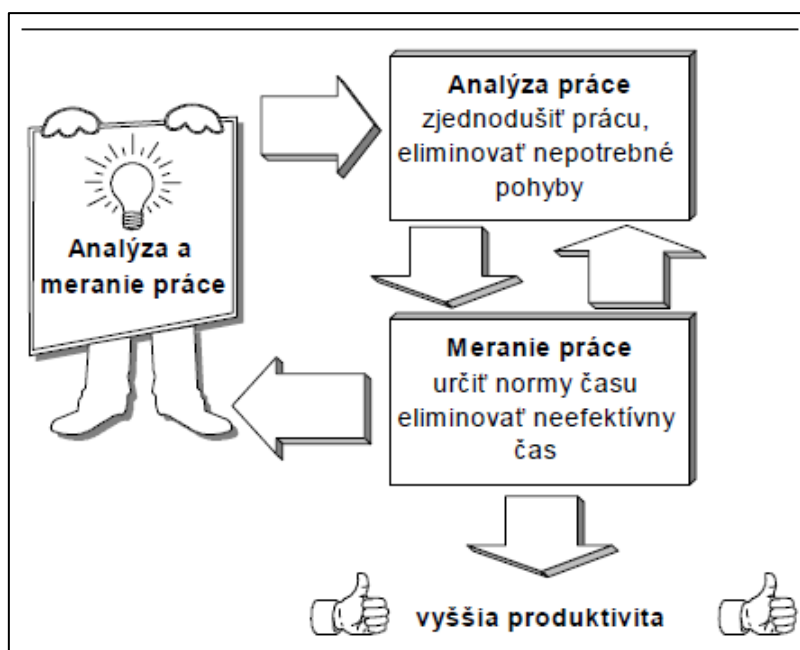
- Pozorování musí být objektivní (pozorovatel musí registrovat fakta, a nikoli zaznamenávat domněnky)
- Pozorování musí být cílevědomé (pozorovatel si musí být vědom toho, co má pozorovat, a musí se soustředit na to, co je v pozorovaném jevu podstatné)
- Pozorování musí být důkladné a podrobné, ale zaznamenáváno má být to, co je z hlediska pozorování důležité
- Pozorování musí předcházet důkladné studium tématu, neboť čím více o předmětu pozorování víme, tím lehčeji a důkladněji pozorujeme (kvalita pozorování přímo souvisí s vědomostmi o předmětu pozorování)
- Pozorování musí být systematické a plánovité; je-li tomu opačně, vede pozorování jen k fragmentárním, neuspořádaným poznatkům
- Pozorování má být spojeno s aktivním myšlením, které umožňuje operativní zdokonalování pozorování a sledování souvislostí mezi pozorovanými jevy, a tak umožňuje i postihovat smysl toho, co je pozorováno (vztah chování k situaci)
- Pozorování má být zakončeno slovní formulováním dosažených výsledků, tj. systematickým a podrobným zápisem (protokolem)

Uvedené body lze shrnout v následujících větách. Podstatou metody je systematické sledování a dobře naplánované vnímání vybraných jevů a skutečností, které je nutno pečlivě zaznamenat (časově i popisně). Jedná se o časově náročnou činnost, u které je nutné zachovat nezájatost objektivní postoj ke zkoumanému jevu a soustředěnost. Podíváme-li se blíže na časové zkoumání vybraných jevů je k jejich správnému provedení možno hledat inspiraci ve vědním odvětví zvaném měření práce.

5.5.2 Měření práce

Obecně lze říci, že každá lidská práce, od které očekáváme nějakou přidanou hodnotu je závislá na tom, jak dlouho trvají dílčí činnosti či operace, ze kterých je tvořena (IPA SLOVAKIA 2017). Tato skutečnost platí napříč všemi obory, které pramení z procesního inženýrství a úzce souvisejí s dopravou a logistikou. Při detailním rozboru lze například poukázat na přímou vazbu mezi počtem potřebných osob, manipulačních prostředků, plochy pro vykonávání práce, průběžné doby, ale i cenou požadovanou za odvedenou práci právě vzhledem k dobám trvání hlavních či vedlejších operací. Čas je proto v této souvislosti označován za stín pohybu (IPA SLOVAKIA 2017). V oblasti provozování dopravy je tedy smysluplné, zabývat se otázkou měření práce, a to nejen z důvodu současných vysokých požadavků na efektivitu, variabilitu a nízkou cenu.

Analýza práce nám umožňuje vyhledání a odstranění operací a činností, které nepřinášejí užitek (IPA SLOVAKIA 2017). Blokové schéma takového postup analýzy práce je uvedeno jako obrázek č.10.



Obrázek č.10 – Blokové schéma postupu analýzy měření práce (IPA SLOVAKIA 2017)

V návaznosti na hledání časově nepřínosných operací je možné dále hlouběji pátrat v metodách, které procesní inženýrství a optimalizace v logistice nabízejí, viz například (IPA SLOVAKIA 2017), (MAŠÍN a VYTLAČIL 2000), (DYNAMICFUTURE 2010), (IPA SLOVAKIA 2013) nebo (MAYNARD 2013). Vybrané metody založené v počátcích na měření času a poté upraveny do komplexnější analytické podoby mohou být významnou měrou přínosné v rámci zvyšování efektivity a hospodárnosti řešených úloh z oblasti provozování dopravy.

Podíváme-li se do minulosti, začali se metody měření času vyvíjet následujícím způsobem. Původní formou metod měření času byla metoda hrubého odhadu. V současnosti samozřejmě velmi nepřesná a pro konkurenceschopnost nepoužitelná záležitost. Postupem času bylo možno na základě intuice či dlouholetých znalostí a zkušeností stanovovat časy přesněji, nicméně to vždy záleželo na přesvědčivosti uživatele, při stanovování času (MAYNARD 2013).

Když se začali zpřesňovat měřicí metody, došlo také na důkladnější archivaci výsledků měření a k následnému vývoji metody založené na základní statistické analýze a použití historických dat. Tato metoda má dvě základní podmínky, aby její použití bylo možné a přesné:

- Je nutno zachovat podmínky a akce, které při měření nastaly
- Akce musejí být vykonány v přesném pořadí, na kterém jsou historická data založena

Současná literatura však tvrdí, že na práci bychom měli pohlížet jako na něco, co chceme efektivně řídit, plánovat a organizovat. Neměli bychom proto na ni pohlížet jako na sled náhodně opakující se úseků z minulosti (MAYNARD 2013). Důsledkem pro metodu historických dat, je provést důkladnou analýzu všech akcí, které nastaly a ponechat pouze produktivní elementy a jejich operační časy. Výsledná čas reprezentuje časovou potřebu skutečného času pro vykonání dané činnosti za dodržení konkrétních podmínek. Pro přenos na průměrného pracovníka bylo nutno tyto časy analyzovat a zaznamenávat právě tehdy, když zkoumané činnosti vykonávají průměrní pracovníci. Tento postup je teoreticky označován jako metoda časových studií. Jednalo se o první průlomovou exaktní metodu z této oblasti. V době mezi válkami i po druhé světové válce se dostalo těmto exaktním metodám velké přízně, která přinesla základ současné podoby těchto přístupů. Mezi stěžejní mezníky patří bezpochyby

vznik vědního oboru s názvem procesní inženýrství v USA (Institute of Industrial Engineers – IIE) (MAYNARD 2013), (MAŠÍN a VYTLAČIL 2000). Odtud došlo k rozšíření do celého světa. Američané byli nejaktivnější v rozvíjení otázky analýzy a měření práce (IPA SLOVAKIA 2013).

Jako každá metoda, i tato s sebou nesla určitá úskalí. Jedná se zejména o to, že analytik musí subjektivně hodnotit pracovníka či porovnávat jej s odhadem 100% výkonnosti (MAYNARD 2013), (MAŠÍN a VYTLAČIL 2000). Rovněž jde o vazbu na dokonalost časoměrných přístrojů a jejich předvídavost budoucí situace (IPA SLOVAKIA 2013). Výsledkem prací s těmito závěry bylo tvrzení, že veškeré manuální operace jsou výsledkem kombinace základních elementárních technik (MAYNARD 2013).

Záměrem bylo univerzálně měřit pracovní metody a lépe je časově popsat. Vznikl tedy systém předem určených pohybových časů PMTS (Predetermined Motion Time System). Tento systém využívá časové studie a mikropohybové techniky vzešlé z dřívějších technik za účelem určení a přiřazení časů specifikovaným základním pohybům. Od té doby se měření práce stalo soubojem o nalezení nejlepšího vzorce základních pohybů potřebných k vykonání potřebného úkolu. Z USA tak rovněž pochází tvorba Dr. H.B. Maynarda, který pomohl základ tomuto systému položit prostřednictvím své publikace základy metody MTM (MAYNARD 2013). Pro potřeby této práce byly vybrány k bližšímu přiblížení nejznámější metody předem určených časů MTM a MOST. Každé z nich je níže věnována jedna podkapitola.

5.5.2.1 Metoda MTM

Metoda MTM je původní metoda publikována v USA v roce 1948, které v průběhu dalších let dostala mnoha vylepšení. Zpočátku se vžilo pro tuto metodu označení MTM-1. Tato metoda se vyznačuje rozkladem každé činnosti či operace na její základní pohyby. Tyto pohyby se posléze analyzují a je jim přiřazena časová norma. Pro potřeby této metody byly zavedeny univerzální časové jednotky tzv. TMU (Time Measurement Unit). Mezi reálnými časovými jednotkami existuje následující vazba, která je uvedena jako Tabulka č.5.

Tab. 5 – Vztah mezi TMU a reálným časem (DYNAMICFUTURE 2010)

1 TMU = 0.00001 hodiny	1 hodina = 100 000 TMU
1 TMU = 0.0006 minuty	1 minuta = 1.667 TMU
1 TMU = 0.036 sekundy	1 sekunda = 27.8 TMU

Dle (MAYNARD 2013) je tato metoda velmi přesná, ale vyznačuje se přílišnou pracností. Byla proto velmi záhy označena za neefektivní a její vylepšení bylo otázkou času. V Evropě vznikl systém MTM-2 a následně vylepšený MTM-3. V době rozmachu těchto systémů byl za nejzdařilejší považován systém MTM-V. Dle (MAYNARD 2013) lze také nalézt poměry rychlosti použití jednotlivých vylepšených verzí vůči základní verzi MTM. MTM vůči MTM-2 byla například 70 krát pracnější a vůči MTM-3 dokonce až 200 krát. Základní systémy MTM jsou pro své vlastnosti vhodné pro oblast velkosériové výroby s častým opakováním. Elementární operace jsou zde voleny do 30 sekund. Mezi další zajímavé představitelé „kmene MTM“ je možno zařadit MTM-UAS, jež je spíše vhodný pro dávkovou výrobu s operacemi o délce trvání do 4 minut. Z praktického hlediska je jeho použití možno zasadit do oblasti dopravy, skladování, či třeba zdravotnictví. Modifikace MTM pro kusovou výrobu byl vyvinut v Německu a je označován MTM–MEK.

5.5.2.2 Metoda MOST

Metoda MOST je v literatuře označována např. (DYNAMICFUTURE 2010) i (IPA SLOVAKIA 2013) za ve světě nejrozšířenější a efektivní způsob pro stanovování norem práce. Byla vyvinuta institutem založeným právě Dr. Maynardem a nese také jeho jméno. MOST – Maynard Operation Sequence Technique. Vyznačuje se zejména výrazným zvýšením produktivity práce analytika oproti systémům MTM. Nejde totiž do takové hloubky detailu poznání operace jako MTM. Tuto skutečnost potvrzuje uvedený příklad (DYNAMICFUTURE 2010), že pro vložení určitého dílu do stroje je v rámci metody MTM potřeba 15 elementárních úkonů, kdežto pomocí metodiky MOST stačí 7 úkonů. MOST se vyznačuje tím, že ke stanovování časů operací využívá pohledu na pohyb objektu. Existují dva úhly pohledu:

- Předměty se pohybují volně prostorem
- Předměty se pohybují v neustálém kontaktu s jiným povrchem

Při každém pohybu nastává řetězec standardních sekvencí činností (DYNAMICFUTURE 2010), proto se používají tzv. předdefinované moduly aktivit. Dle (DYNAMICFUTURE 2010) jsou potřebné pouze 3 základní sekvence, pro plnohodnotné používání MOST. Jedná se o následující akce včetně písemného označení:

- Obecné přemístění
- Řízené přemístění
- Použití nástroje

Sekvenční model obecného přemístění představuje manuální manipulaci s objekty po neomezené dráze prostorem. Tato sekvence není použitelná v případě, že objekt (předmět manipulace) je v kontaktu s jiným povrchem. Sekvenční modely mají podobu fixní série písmen, reprezentující každou z různých subaktivit v rámci sekvence obecného přemístění (DYNAMICFUTURE 2010). Obecné přemístění je definováno jako sled subaktivit **A B G A B P A**, kde:

- A – Akce na určitou vzdálenost
- B – Pohyb těla
- G – Získání kontroly
- P – Umístění

Obecné přemístění lze rozdělit na etapy (skupiny subaktivit). „**A B G**“ – vzít, „**A B P**“ – položit a „A“ – návrat zpět. Kdybychom chtěli vysvětlit detailně etapu vzít, čili „**A B G**“, bylo by to možné takto: **A** reprezentuje vzdálenost, kterou je nutno překonat pohybem ruky či celého těla k dosažení objektu přemístění. **B** vyjadřuje jakýkoliv pohyb v průběhu této akce. Závěrem **G** vyjadřuje obtížnost získání. Dále bychom mohli pokračovat s dalšími etapami tohoto příkladu. Subaktivity se dále indexují podle složitosti provedeného úkonu, indexování se řídí následující tabulkou, které je pro tyto účely předdefinována. Tabulka je zobrazena na další straně jako Tabulka č.6.

Příkladem použití této tabulky je definice úkonu, který budeme chtít pomocí MOST definovat. Řešený úkon bude vylezení na žebřík do výšky 50 cm. Tomuto úkolu odpovídá reprezentace subaktivitou B s indexem 16. Obdobně kdybychom chtěli popsat uchopení hrsti hřebíků, použili bychom subaktivitu G s indexem 3. Násobně aktivity se vkládají jako subaktivity do závorek a násobí se obdobně jako v matematice. Výsledná časová náročnost je dána přepočtem dle tabulky č.6, kde index aktivity násobíme číslem 10 a závěrem vše dle matematických pravidel sečteme. Výsledná hodnota je v jednotkách TMU.

Obdobně je tomu s dalšími sekvenčními modely, které použití této techniky rozšiřují a dodávají celou paletu subaktivit, se kterých je možno elementarizovat jakoukoliv lidskou činnost. Toto je jeden

z důvodů, proč je metoda MOST jednou z nejrozšířenějších metod používanou normovači práce (MAYNARD 2013), (DYNAMICFUTURE 2010).

Tab. 6 – Datová karta pro systém MOST – Obecné přemístění

Obecné Přemístění					Akce na určitou vzdálenost Doplnkové A								
ABG Získat		ABP Položit		A Návrat									
index x10	Akce na určitou vzdálenost	A	Pohyb těla	B	Získání kontroly	G	Umístění	P	index x10	Index	Kroky	Vzdálen (ft)	Vzdálen (m)
0	≤ 2 in. (5 cm)		Žádný pohyb těla		Bez získání kontroly Držet		Bez umístění Držet Hodit		0	24	11-15	38	12
1	Na dosah				Uchopit lehký objekt Uchopit lehký objekt Simo		Odložit Volné tolerance		1	32	16-20	50	15
3	1 – 2 kroky		Sednout bez ustavení Vstát bez ustavení Sehnout se a napřímít 50 %		Získat Ne-simo Získat těžký/objemný Získat neviděný Získat blokováný Promícháný Rozpojit,Shromáždit		Volné tolerance při nevidění Umístit s ustavneím Umístit s lehkým tlakem Umístit s dvojím umístěním		3	42	21-26	65	20
6	3 – 4 kroky		Sehnout se a napřímít				Uložit s péčí Uložit s přeností Uložit neviděný Uložit blokováný Uložit velkým tlakem Uložit s mezipohyby		6	54	27-33	83	25
10	5 – 7 kroků		Sednout Vstát						10	67	34-40	100	30
16	8 – 10 kroků		Sehnout se a sednout, Vylézt nahoru, Slézt dolů, Vstát a sehnout se, Dvěma						16	81	41-49	123	38
										96	50-57	143	44
										113	58-67	168	51
										131	68-78	195	59
										152	79-90	225	69
										173	91-102	255	78
										196	103-115	288	88
										220	116-128	320	98
										245	129-142	355	108
										270	143-158	395	120
										300	159-174	435	133
										330	175-191	478	146

5.5.3 Analýza dokumentů, dat z minulosti

Pokud není možné si vybraný jev přímo prohlédnout, můžeme použít metodu analýzy dokumentů či dat z minulosti. Předpokladem samozřejmě je, že jsou adekvátní datové podklady dostupné, jsou vztažené k jevu či procesu, který je předmětem našeho zkoumání a zároveň je o nich možno objektivně prohlásit, že nebyly vytvořeny za účelem právě našeho zkoumání – nezájatost. V tomto případě můžeme pracovat například s textovými záznamy či databázově strukturovanými informacemi. Mezi představitele zdrojů těchto informací je možné zařadit podnikové informační systémy, provozní deníky či knihy jízdy ve vazbě na manipulační techniku a prostředky.

Tato oblast výzkumu je také dělitelná na určité podseky jako je například obsahová analýza, nicméně pro rámec a záměr této práce postačí skutečnost, že významným zdrojem informací jsou právě zmíněné informační kanály ve formě podnikových informačních systémů, provozních záznamů, záznamy o odvedené výrobě čili zpravidla informace, které lze kvantitativně zpracovávat s využitím softwarových nástrojů při zachování určité kvality zpracování. Techniky zpracování dat s využitím matematické statistiky jsou uvedeny dříve.

5.5.4 Dotazování

Dotazování je uváděno jako nejčastější metoda v oblasti kvantitativního sociálně – vědního výzkumu (FOCUS AGENCY s.r.o. 2009). Z obecného hlediska lze říci, že pokud víme přesně, co chcete zjistit, nezbyvá než zvolit správnou metodu sběru dat. Velmi často nelze přesně určit, která metoda je ta správná, neboť každá má své výhody i nevýhody (FOCUS AGENCY s.r.o. 2009). Zvolená metoda bývá velmi často kompromisem mezi tím, co všechno bychom chtěli zjistit a různými omezeními, kterými jsme limitováni. Nejčastější limity dle (FOCUS AGENCY s.r.o. 2009) jsou hlavně rozpočet a čas vyhrazený na výzkum. V současné době nelze tedy s jistotou o žádné metodologii používané ve výzkumu říct, že je ideální pro daný výzkum. Můžeme pouze zvolit takovou, která vyhovuje omezujícím podmínkám obdobně jako je tomu u hledání řešení úloh operační analýzy (KLUVÁNEK A BRANDALÍK 1982).

Je ale nutno dodat, že dotazování může mít v dnešním světě disponujícím mnoha informačními kanály a technologiemi adekvátní počet forem. Nabízí se například osobní dotazování, anketní dotazování či telefonické nebo internetové. Teoreticky je možno všechny tyto přístupy využít v řešené oblasti, které se věnuje tato práce právě při realizaci výzkumu pro zjištění některé z charakterových vlastností zkoumaného jevu.

6 Volba simulačního nástroje

Při hodnocení simulačních nástrojů je předně třeba uvést, že všechny uvedené nástroje je možné pro simulační řešení v rámci cíle této práce použít. Důležitou stránkou hodnocení je však způsob a škála zadávaných vstupních dat, možnost čerpání inspirace z již realizovaných aplikace nástroje na oblast výrobní a zásobovací logistiky, přívětivost nástroje pro simulaci manipulace s materiálem a rychlost realizace simulačních experimentů či možnost využití různých optimalizačních nástrojů a přístupů.

6.1 Adaptabilita simulačního nástroje

Z pohledu adaptability, tedy možnosti přizpůsobit simulační nástroj řešení problematice, je třeba kladně hodnotit nástroj Witness zejména díky aplikačním příkladům, které popisují simulaci práce manipulačních zařízení (AL-AOMAR aj. 2015), (LANNER GROUP LTD 2001), jež využívají při řešení naprogramované jízdy vozíku po předem definovaných tratích. Práce a pohyb vozíku jsou deklarovány řízenou nakládkou a vykládkou v rámci modelu (nejčastěji funkce "CALL"). Vozík je schopen pojmout množství součástek, které odpovídá jeho deklarované kapacitě. Jízda vozíku po definovaných tratích je pak řízena na základě pravidel specifikovaných na výstupu z příslušné trati. Lze tedy říci, že na konci každé dílčí trati je vhodné umístit rozhodovací mechanismus, který vozík nasměruje na další trať. Tato provázanost odpovídá reálné potřebě při simulaci procesu zásobovací logistiky. Obdobně lze tuto problematiku řešit také v SW Plant Simulation, ne však takto přímočaře. Nástroj Arena a Simul 8 v tomto směru zaostávají jak grafickou přívětivostí, tak aplikačními příklady. Zmíněný koncept byl v nástroji Witness dále rozvinut v (RUNCIMAN 1997), kde autoři rozhodovací mechanismus na konci každé trati z univerzálili.

Výše zmíněné aplikační případy i použitelnost nástroje Witness z něj dělají vhodný prostředek pro řešení cíle této práce. Vzhledem k rozpracovaným aplikacím v oblasti zásobovací logistiky a splnění všech potřebných vlastností, na které lze napříč rešerši simulačních nástrojů poukázat, byl Witness zvolen jako nástroj, ve kterém bude klíčový model pro dosažení cíle práce sestaven. Podpůrným argumentem je také skutečnost, že Witness disponuje vestavěným nástrojem "Experimenter" (LANNER GROUP LTD 2000), který lze využít pro nalezení optimálního či suboptimálního řešení kritériální funkce pomocí implementovaných heuristických algoritmů. Bližšímu seznámení s tímto simulačním nástrojem je věnována samostatná kapitola této práce.

6.2 Základní prvky simulačního nástroje Witness

Witness je objektově orientovaný simulační nástroj, a jako takový se vyznačuje tím, že nabízí funkční prvky, jejichž vhodným propojením je realizována stavba simulačních modelů. Mezi ty, jež jsou v práci zmiňovány patří nejen základní a velice univerzální, které jsou zmíněny také v (HOLÍK 2009) jako: Stroj (Machine), Součást (Part), Zásobník (Buffer) či Pracovník (Labor), ale také prvky více profilované svými vlastnostmi podle toho, k čemu je lze při modelování použít. Sem lze rozhodně zařadit dle (LANNER GROUP LTD 2001): Vozík (Vehicle), Trať (Track), Dopravník (Conveyor). Samostatnou kapitolou je modul simulačního prostředí zvaný Experimenter (LANNER GROUP LTD 2000), (LANNER GROUP LTD 2001), která ve dvou uživatelských režimech „Basic“ a „Advanced“ umožňuje využít také naprogramované heuristické algoritmy k nalezení optimálního a suboptimálního řešení definované úlohy. Jeho případná použitelnost v rámci komplexnosti řešeného systému bude v práci ještě rozebírána.

6.2.1 Stroj (Machine)

Prvek stroj (Machine) je základním a nejsilnějším stavebním prvkem tohoto programového prostředí. Tento prvek umožňuje na základě uživatelem definovaných vstupních a výstupních pravidel (Input, Output Rules) a řídicích akcí (Actions) vykonávat časově vyjádřenou činnost a být tak akčním členem či do jisté míry řídicím členem děje v simulačním modelu. Stroj, obdobně jako v reálném provozu, vykonává svou činnost pouze při zpracování dalšího z klíčových elementů – součástce (Part). Vstup součástek do stroje (obdobně také výstup součástí ze stroje) je řízen soustavou pravidel, které je možno uživatelsky přizpůsobit. Pokud jsou tato pravidla splněna, součástka do stroje vstoupí, setrvá v něm po dobu, jež odpovídá operačnímu času stroje (Cycle Time) a dle definovaných výstupních pravidel stroj opouští.

Uživatel může při stavbě simulačního modelu využít hned několik předdefinovaných režimů práce stroje. Pro vysvětlení je vhodnější označovat to za typy strojů. Jejich odlišnost spočívá zejména v počtu zpracovávaných součástí či režimu výstupu součástí ze stroje po opracování. Zde jsou uvedeny příklady několika z nich. Pro vysvětlení je nutno uvést, že proměnné m , n udávají vyjadřují počet:

Typ SINGLE – do stroje vstupuje a ze stroje vystupuje vždy jen 1 součástka – nejčastější.

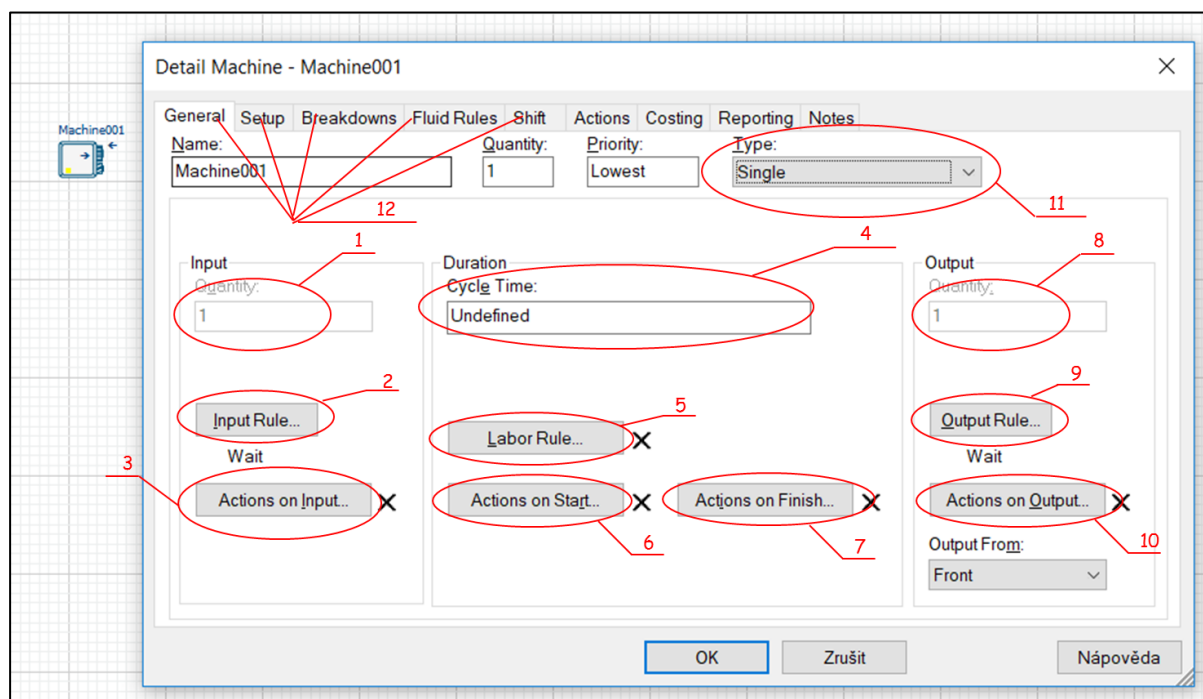
Typ BATCH – do stroje vstupuje a ze stroje vystupuje vždy n součástek.

Typ ASSEMBLY – do stroje vstupuje n součástek a pouze 1 ze stroje vystupuje.

Typ PRODUCTION – do stroje vstupuje 1 součástka a vystupuje $n + 1$ součástek.

Typ GENERAL - do stroje vstupuje m součástek a stroje vystupuje n vždy součástek.

Typ MULTIPLE CYCLE – stroj obsahující více cyklů typu SINGLE.



Obrázek č.11 – Náhled podokna pro definici vlastností prvku stroj (LANNER GROUP LTD. 2018)

Vysvětlení jednotlivých políček je možno nalézt v přehledné tabulce č. 7.

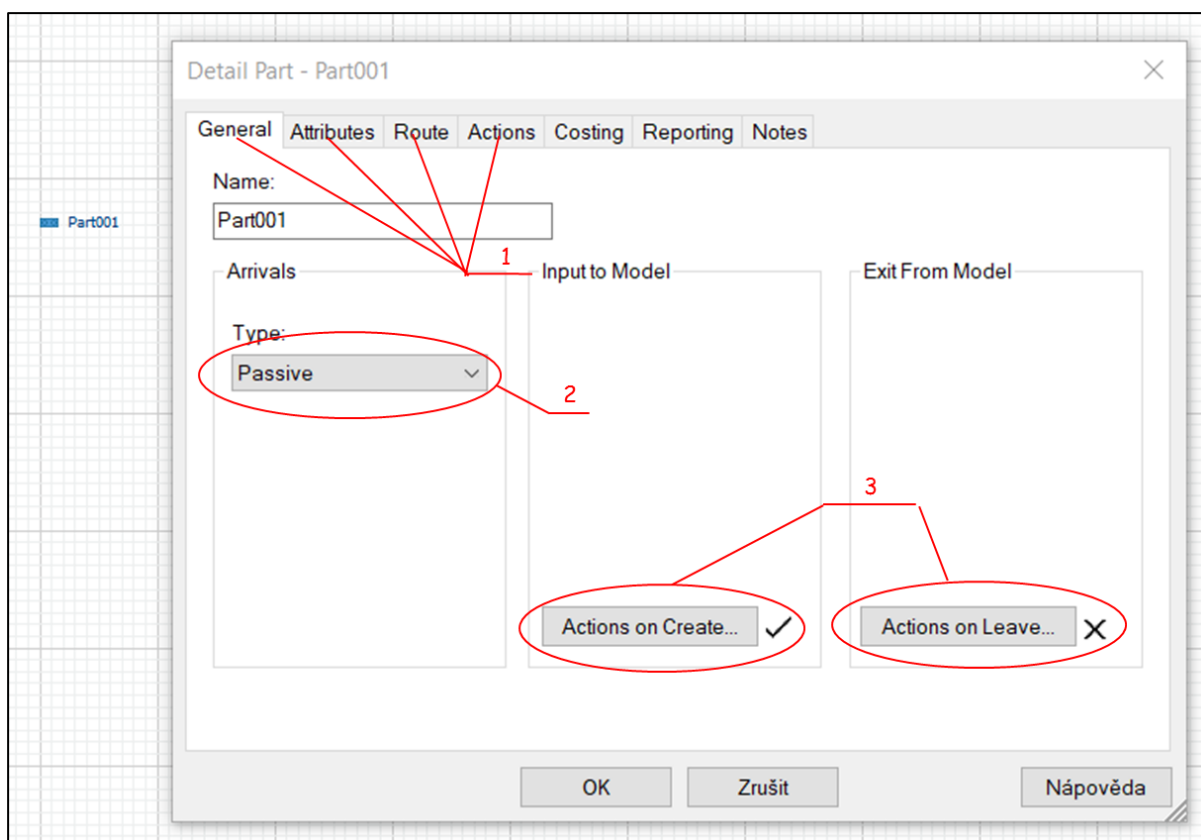
Tab. 7 – Vysvětlivky k obrázku č.11

Označení	Vysvětlení
1,8	Vyplnění počtu vstupních a výstupních součástí, aktivní jen pro určité typy strojů (viz. 11)
2,9	Tlačítko pro vstup do formuláře pro definici vstupního či výstupního pravidla
3, 6, 7, 10	Tlačítka pro vstup do formuláře pro definici akcí v různých fázích činnosti stroje
4	Pole pro zápis operačního času stroje (v časových jednotkách modelu, či jako funkce)
5	Tlačítko pro specifikaci pracovníka, jeho přítomnost bude pro opracování součásti nutná
11	Rolovací seznam pro výběr požadovaného typu stroje,
12	Pás karet, na nichž se nachází formuláře pro definici poruch, seřízení, směnnosti, reporty

6.2.2 Součástka (Part)

Součástka (Part) je prvkem, který je přemísťován nebo se za určitých okolností sám přemísťuje mezi stroji či zásobníky v simulačním modelu obdobně jako např. zákazník v systému hromadné obsluhy či polotovary ve strojírenské výrobě. Součást sama teče mezi prvky simulačního modelu pouze při speciálním režimu simulace, jež se nazývá „routování“. Pro potřeby této práce se ale tímto není nezbytně dále zabývat. Součástka, má-li být přemísťována, může být tedy dvojího druhu, a to: aktivní (Active) nebo pasivní (Passive). Aktivní součást sama vstupuje do simulace, kdežto pasivní je do modelu tzv. „vtažena“ až je potřeba. Zde je vidět analogie s v logistice velmi často používanými termíny pro řízení procesu principem tahu či princip tlaku.

Při práci se součástkou řídí jednotlivé stroje či jiné akční elementy tok součástí v simulačním modelu a dle jejich průchodu případně souběhu v jednom stroji vykonávají časově definované operace. Součástky lze v průběhu průchodu modelem zušlechťovat, posouvat například po dopravníku či záměrně sdružovat v zásobnících. Typickým použitím součásti v modelu je její vtažení do modelu až v případě, kdy je potřeba pomoci vstupních pravidel příslušného stroje. Na obrázku č.12 je okno programu Witness pro definici vlastností prvku součástka.



Obr. 12 – Náhled podokna pro definici vlastností prvku součástka (LANNER GROUP LTD. 2018)

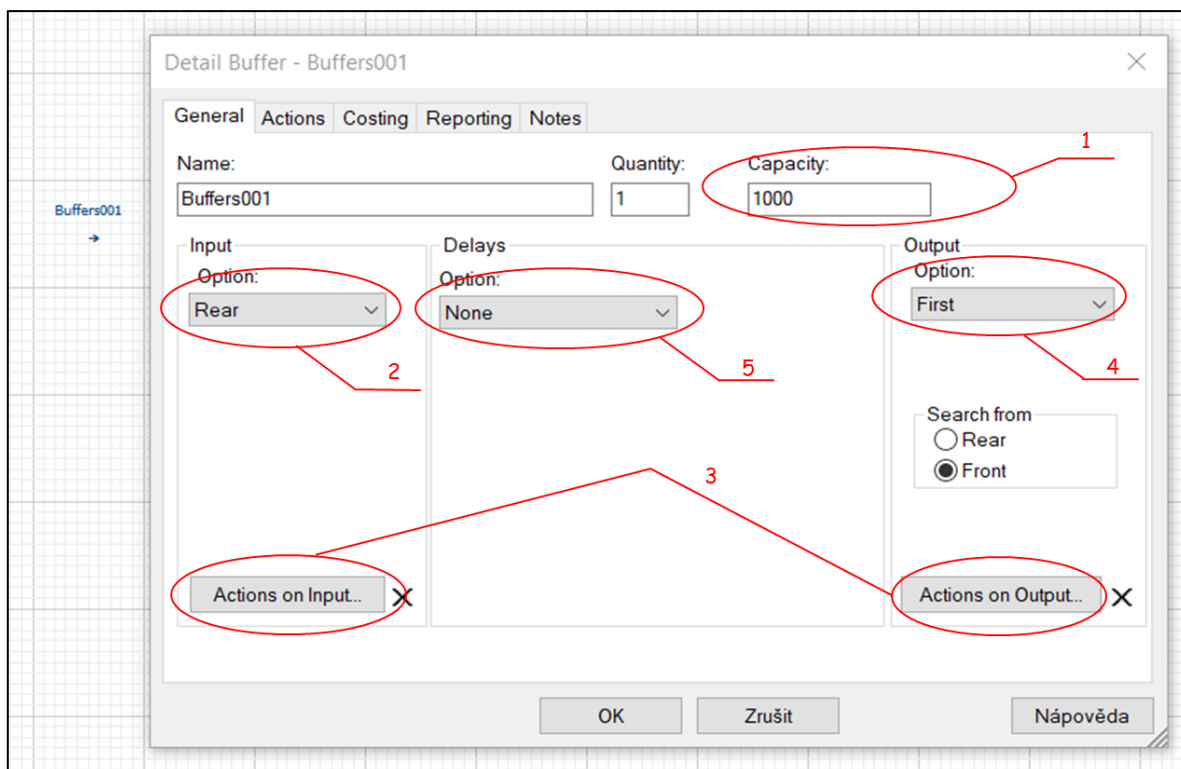
Vysvětlení jednotlivých políček je možno nalézt v přehledné tabulce č. 8.

Tab. 8 – Vysvětlivky k obrázku č.12

Označení	Vysvětlení
1	Pás karet, obsahující formuláře pro definování atributů součástky, routování, akce
2	Rolovací seznam pro výběr typu součásti - U active další možnosti
3	Formuláře pro definici akcí při vstupu součásti do modelu a při opuštění modelu

6.2.3 Zásobník (Buffer)

Prvek zásobník (Buffer) je možno, z hlediska možnosti ovlivňovat chod modelu, považovat za prvek pasivního charakteru, do něhož je možné pouze vkládat součástky a vybírat je z něj. Součástky jsou do zásobníku vkládány podobně, jako se např. řadí zákazníci do fronty před obslužením v SHO. Výběr součástek ze zásobníku lze realizovat několika způsoby. Nejrozšířenější aplikací z praxe je postup v režimu FIFO, je ale možné použít také režim LIFO, či výběr zcela ponechat na řídicích strojích, které mohou využívat uživatelsky definované algoritmizované pravidla pro výběr. Prvek zásobník je uzpůsoben k vykonávání akcí, ale pouze při vstupu (Actions on Input) či výstupu (Actions on Output) součástky. Na obrázku č.13 je okno programu Witness pro definici vlastností prvku zásobník. Prvku zásobník lze také definovat režim zpoždění součástky, a to ve variantě minimální, maximální či intervalový.



Obr. 13 – Náhled podokna pro definici vlastností prvku zásobník (LANNER GROUP LTD. 2018)

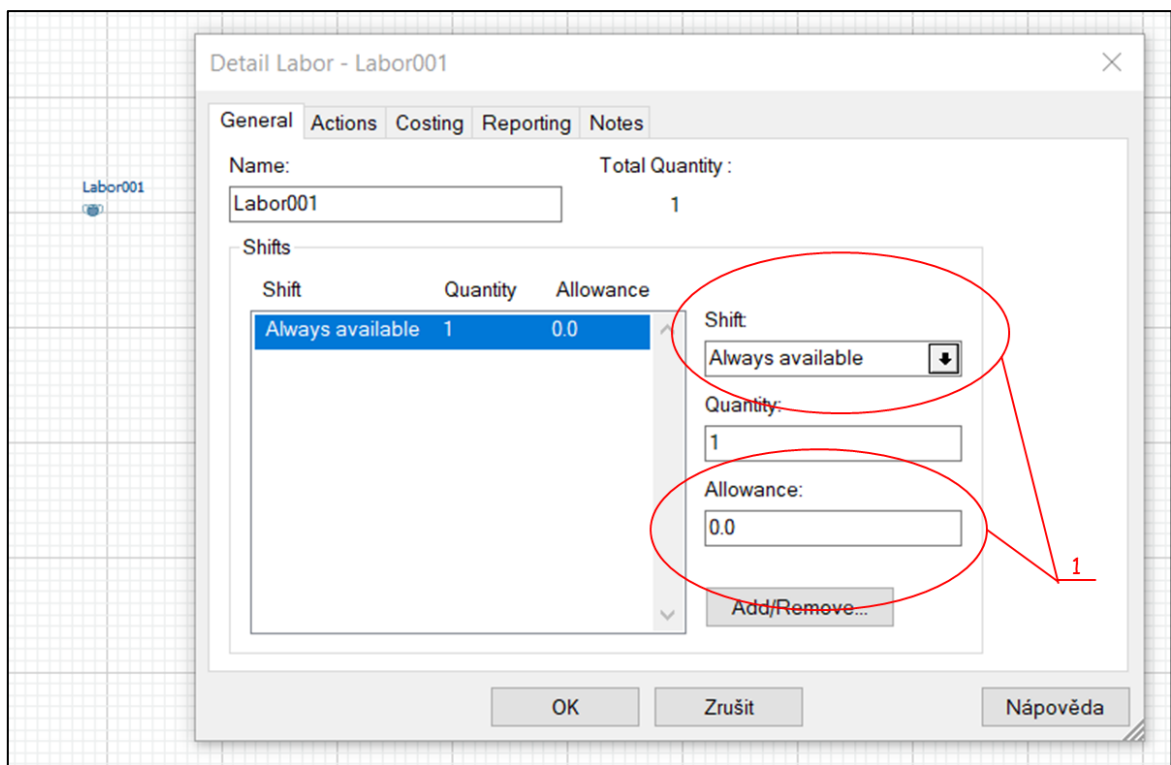
Vysvětlení jednotlivých políček je možno nalézt v přehledné tabulce č. 9.

Tab. 9 – Vysvětlivky k obrázku č.13

Označení	Vysvětlení
1	Pole pro zápis definované kapacity zásobníku v součástkách
2,4	Rolovací seznamy umožňující specifikovat frontový režim zásobníku
3	Formuláře pro definici akcí při vstupu či výstupu součásti do a z zásobníku
5	Rolovací seznam definující režim zpoždění součásti v zásobníku

6.2.4 Pracovník (Labor)

Prvek pracovník (Labor) se nejčastěji používá k reprezentaci obsluhy strojů či dopravníků. Je důležitý či lze říci skoro nezbytný v modelech, které mapují využití personálu při simulovaných operacích. Jako každému akčnímu prvku, tak i pracovníku je možno definovat směnnost, prostřednictvím které je možno omezit jeho dostupnost v simulačním modelu. Prvek pracovník je přiřazen k jednotlivým vykonávaným činnostem na základě definovaného pravidla v prvcích stroj či dopravník. Jak již bylo zmíněno, je-li definováno pravidlo pracovníka, stroj danou operaci nevykoná bez jeho přítomnosti. Na obrázku č.14 je okno programu Witness pro definici vlastností prvku pracovník.



Obr. 14 – Náhled podokna pro definici vlastností prvku pracovník (LANNER GROUP LTD. 2018)

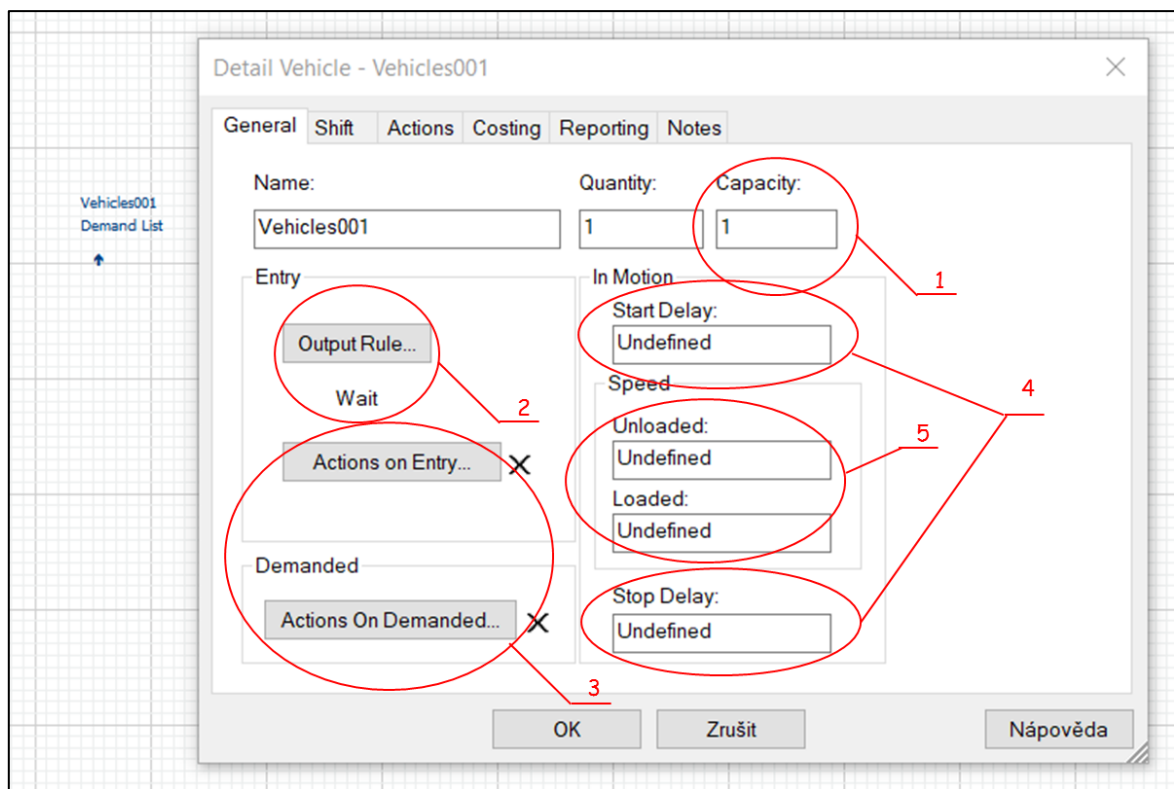
Vysvětlení jednotlivých políček je možno nalézt v přehledné tabulce č. 10.

Tab. 10 – Vysvětlivky k obrázku č.14

Označení	Vysvětlení
1	Pole pro definici směny pracovníka a možnosti přesčasu

6.2.5 Vozík (Vehicle)

Prvek vozík (Vehicle) náleží do kategorie elementů, které lze použít pouze k simulaci konkrétního reálného objektu, nemá tedy takovou variantnost použití jako dříve zmíněné základní prvky. Lze jej tedy charakterizovat jako element, který lze v kombinaci s prvkem trať (Track) použít pro přepravu materiálu čili elementu typu součástka. Pro správně definovanou přepravu je nutné také vhodně zvolit režim řízení vozíku. Toto nastavení je však předmětem prvku trať, kde je také blíže popsáno. Pro relevantní nastavení vozíku je nutné vhodně zvolit zejména jeho kapacitu obdobně jako u reálných přepravních prostředků, dále rychlost pohybu, a to ve specifikaci prázdný či ložený, startovní pozici v simulaci a možnost zpoždění před zahájením jízdy a po jejím dokončení. Veškeré tyto parametry dělají z prvku vozík ideální element pro simulaci přepravy v oblasti výrobní a zásobovací logistiky. Na obrázku č.15 je okno programu Witness pro definici vlastností prvku vozík.



Obr. 15 – Náhled podokna pro definici vlastností prvku vozík (LANNER GROUP LTD. 2018)

Vysvětlení jednotlivých políček je možno nalézt v přehledné tabulce č. 11.

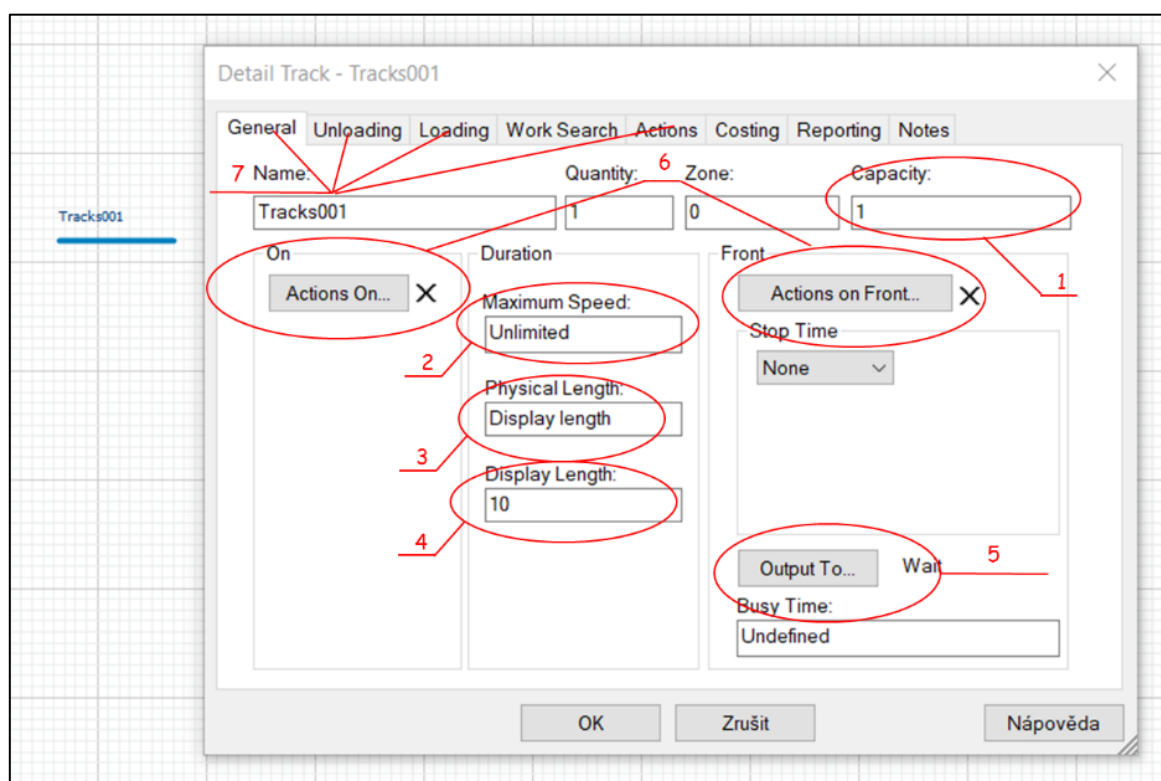
Tab. 11 – Vysvětlivky k obrázku č.15

Označení	Vysvětlení
1	Pole pro specifikaci kapacity vozíku v rámci nakládky
2	Definice pravidla pro vstup vozíku do simulace
3	Formuláře pro definici akcí spojených s vstupem do simulace a stavem, kdy je vozík zavolán
4	Pole pro specifikaci zpoždění před startem a po příjezdu v časových jednotkách modelu
5	Pole pro definici rychlosti pohybu vozíku v základních jednotkách [m/min]

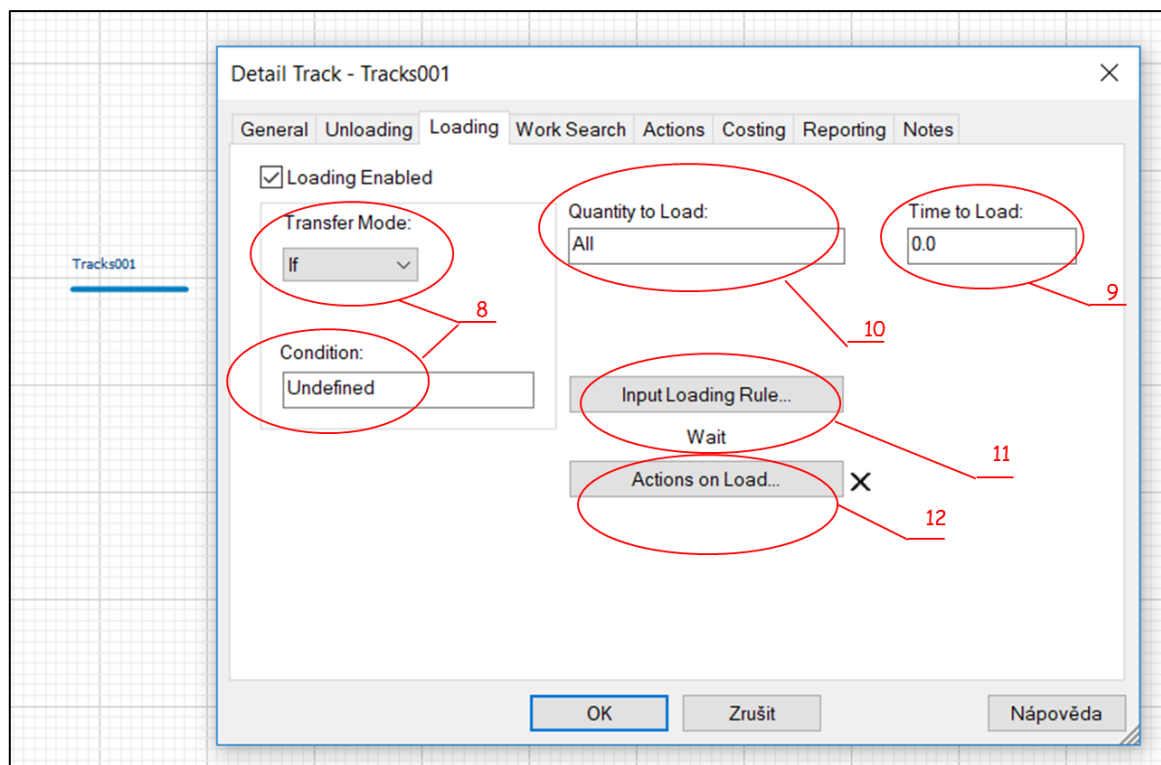
6.2.6 Trať (Track)

Prvek trať (Track) je obdobně jako prvek vozík samostatně nepoužitelný. Jeho účelem je tvořit dopravní síť pro vozíky v simulačním modelu. Jejich vzájemné a vhodné propojení lze přeneseně chápat jako síťový graf, na němž se pohyb vozíku uskutečňuje. Z pohledu definice a možné uživatelské konfigurace je tento prvek výrazně složitější než předchozí. V rámci práce se omezíme na to, že je nutné pomocí něj vybrat režim činnosti vozíku a způsob jakým bude vozík k přepravě povolán. Každá trať nabízí uživateli k definici buďto režim nakládací trati (Loading), vykládací trati (Unloading) či průjezdné trati (General). Tyto režimy lze libovolně u každého prvku typu trať kombinovat, takže je možno vytvořit i trať (jako jeden prvek) která na začátku provede nakládku s pravidlem definovaného místa, dále realizuje přepravu a na konci předmět přepravy vyloží dle příslušného pravidla do určitého místa. Pro přehlednost je ale vhodnější tyto činnosti separovat do tří samostatných prvků, a to také z důvodu čitelnosti struktury modelu a také grafické přívětivosti (HOLÍK 2012). Z pohledu způsobu zavolání vozíku k přepravě je nutné uvést že je vždy nutné specifikovat trať odkud a trať kam se přeprava

realizuje. Zde se již nabízí použití v modelování reálných přepravních systémů. Každé trati je navíc možno definovat omezení rychlosti, které je nadřazeno rychlosti vozíku, což je užitečné při modelování například městských komunikací či omezených dopravních úseků. Pravidla pro nakládání a vykládání vozíku lze rozdělit do tří kategorií. Prvním z nich je pravidlo, kdy vozík nakládá vždy když se nachází na nakládkové trati (Always). Druhým pravidlem je pravidlo (If), které upravuje nakládku, když je vozík na nakládkové trati ještě splněním uživatelské podmínky. Variabilita tohoto režimu v praktických úlohách je velice široká. Posledním režimem je režim cíleného volání, který je obdobný režimu JIT (Just In Time). Tento režim (Call) uvede vozík do pohybu k jízdě na nakládkovou trať a po naložení na vykládkovou trať díky zavolání prostřednictvím akce v akčním prvku modelu. Jedná se o tzv. vyžádané jízdy oproti v předchozích případech cyklicky se pohybujícím vozíkům po tratích. Je však možné vhodným použitím podmínek dosáhnout stejného režimu pomocí (Call) jako pomocí (Always) či (If). Náhled definičního okna vozíku pro typ „General“ a „Loading“ je uveden jako obrázek č. 16 a obrázek č.17 v textu dále. Definiční okno pro režim trati „Loading“ je totožný s definičním oknem režimu „Unloading“, pochopitelně jde však o parametry vykládky.



Obr. 16 – Náhled podokna pro definici vlastností prvku trať – režim General (LANNER GROUP LTD. 2018)



Obr. 17 – Náhled podokna pro definici vlastností prvku trať – režim Loading (LANNER GROUP LTD. 2018)

Vysvětlení jednotlivých políček z předchozích obrázků je možno nalézt v přehledné tabulce č. 12.

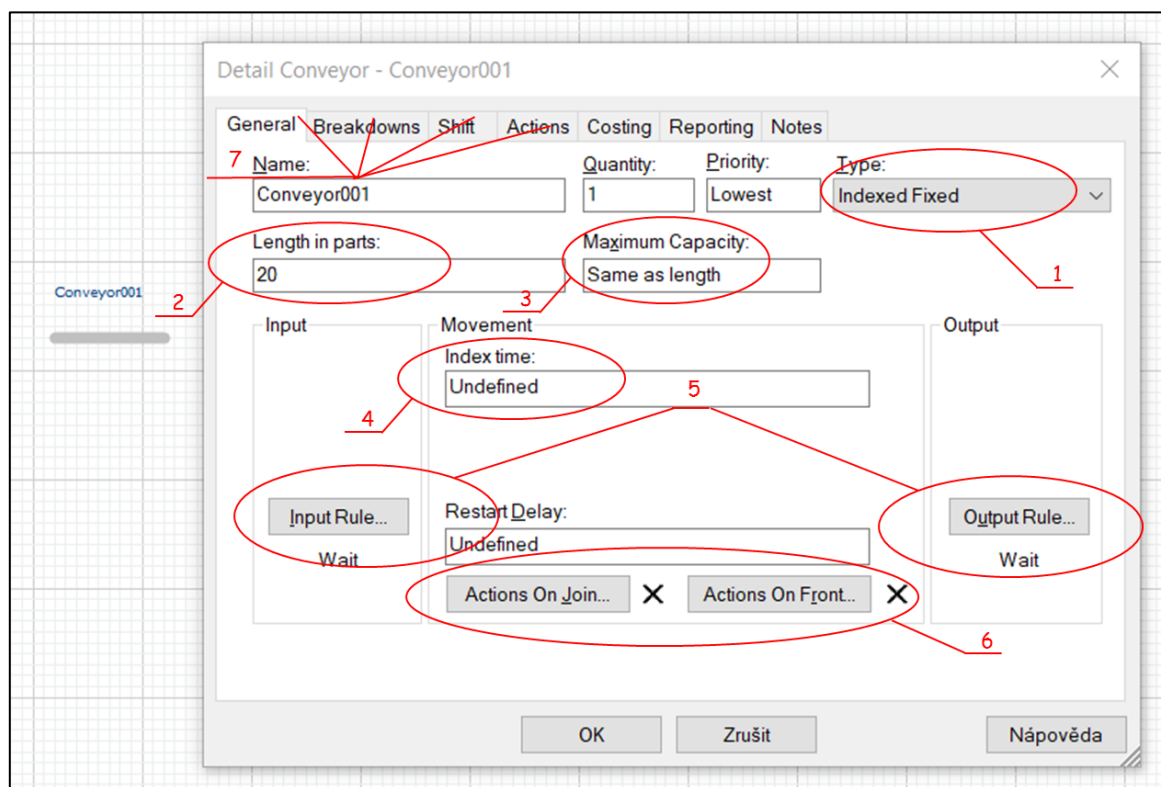
Tab. 12 – Vysvětlivky k obrázku č.16 a k obrázku č.17

Označení	Vysvětlení
1	Pole pro vyplnění limitní kapacity trati ve vozících v jeden časový okamžik
2	Pole pro uvedení rychlostního omezení trati v základních jednotkách [m/min]
3	Pole pro specifikaci fyzické délky trati v metrech
4	Pole udávající počet sektorů, na něž je trať pro grafické zobrazení pohybu vozíku rozdělena
5	Definice výstupního pravidla pro vozík po dosažení konce trati
6	Formuláře pro definici akcí spojených s vstupem vozíku na trať a opuštěním trati
7	Pás karet pro specifikaci vlastností nakládky a vykládky (Doba trvání, Pravidla, Akce ...)
8	Rolovací seznam pravidel pro volání vozíku a pole k vyplnění případné podmínky režimu "If"
9	Pole pro vyplnění doby trvání nakládky či vykládky v základních časových jednotkách
10	Pole pro definici množství které má být naloženo či vyloženo, je udáváno v součástkách
11	Definiční pole pro pravidlo vykládky či nakládky, specifikuje místo odkud resp. kam
12	Formulář pro definici akce spojené s ukončením nakládky či vykládky

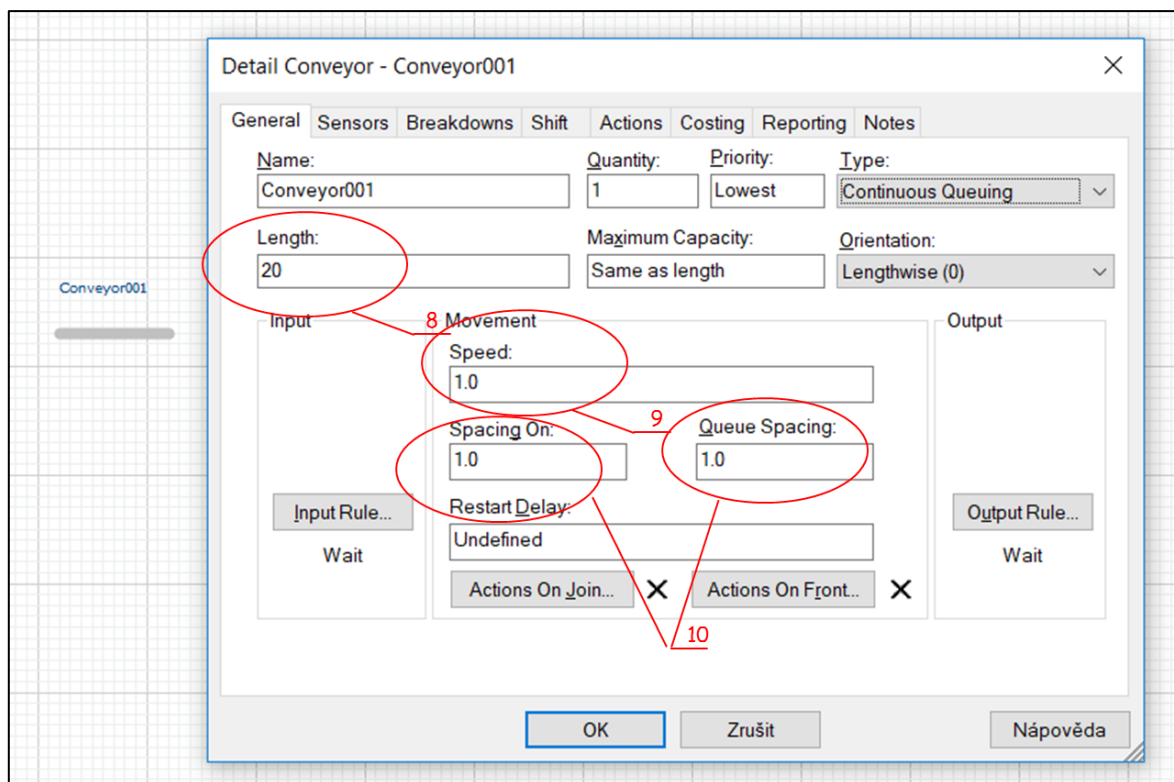
6.2.7 Dopravník (Conveyor)

Prvek dopravníku (Conveyor) je také úzce profilován k modelování členů, které umějí součástky schraňovat a posouvat je v pevných krocích či intervalech. Prvek dopravník může být díky pravidlům na vstup a výstupu akčním členem simulačního děje modelu. Simulační prostředí Witness disponuje prvkem dopravník, které lze uživatelsky přizpůsobit do podoby pásového dopravníku či krokového dopravníku. Navíc je možné ke každé variantě přidat možnost kumulace na konci dopravníku. Uživatel tak dostává možnost nadefinovat 4 druhy dopravníku přesně podle charakteristiky procesu, který je

předmětem modelování. Varianta pásového dopravníku, který respektuje rozměry součástky, zejména tedy její délku (Length), je označován jako „Continuous Fixed“, přidáme-li možnost kumulace na konci, jde o variantu „Continuous Queuing“. Obdobně je to u krokového dopravníku „Indexed Fixed“ a ve variantě s kumulací poté „Indexed Queueing“. Dle typu dopravníku (krokový či pásový) je nutno obdobně jako v reálném procesu specifikovat rychlost pohybu a délku dopravníku. V rámci pásového dopravníku definuje uživatel také mezery mezi součástkami na dopravníkovém páse, což omezuje jeho délkovou kapacitu. Náhled definičního okna je uveden jako obrázek č.18 pro krokový dopravník bez možnosti kumulace na konci „Indexed Fixed“ a jako obrázek č.19 pro pásový dopravník s možností kumulace na konci dopravníku „Continuous Queueing“.



Obr. 18 – Náhled podokna pro definici vlastností prvku dopravník – Indexed Fixed (LANNER GROUP LTD. 2018)



Obr. 19 – Náhled podokna pro definici vlastností prvku dopravník – Continuous Queueing (LANNER GROUP LTD. 2018)

Vysvětlení jednotlivých políček z předchozích obrázků je možno nalézt v přehledné tabulce č. 13.

Tab. 13 – Vysvětlivky k obrázku č.18 a k obrázku č.19

Označení	Vysvětlení
1	Rozbalovací seznam pro výběr varianty dopravníku
2	Pole pro definici délky dopravníku v součástkách, rozměr součástky je tedy důležitý
3	Pole pro specifikaci kapacity dopravníku v součástkách
4	Pole pro vyplnění trvání posunu dopravníku o jednu pozici (krok) v základních časových jedn.
5	Formuláře pro vyplnění vstupního a výstupního pravidla dopravníku
6	Formuláře pro definici akcí spojených s vstupem a opuštěním dopravníku součástkou
7	Pás karet pro definici dalších parametrů dopravníku jako Poruchy, směnnost, akce
8	Pole pro definici délky dopravníku v součástkách v metrech, délka součástky není důležitá
9	Pole pro vyplnění rychlosti posunu dopravníku (pásového) v metrech za zákl. časovou jedn.
10	Pole pro vyplnění mezery na dopravníku mezi součástkami (při pohybu, v kumulaci)

7 Experimentální část práce

Tato kapitola, jež také uvádí experimentální část práce, si klade za cíl postupně přiblížit koncept výsledné metody práce, jež naplní cíl této práce prostřednictvím simulačního modelu pro vyhodnocování uživatelsky definovaných systémů výrobní a zásobovací logistiky. Součástí popisu konceptu metody je také přiblížení klíčových elementů simulačního nástroje a vazeb, které byly pro dosažení cíle v simulačním modelu použity. Nejprve je však nutné na adaptačních příkladech a vývojových experimentech prokázat použití zvoleného simulačního nástroje.

Obecnou podstatou vyvinuté metody práce je v prvním kroku umožnit uživateli definovat klíčové parametry zkoumaného procesu výrobní a zásobovací logistiky v souladu s teoretickým základem popsaným dříve. V druhém kroku dále tyto parametry transformovat do vhodně sestaveného simulačního modelu v prostředí Witness, aby bylo možno provést simulační experimenty na určitém časovém intervalu. Posledním a neméně důležitým bodem je po úspěšně provedených simulačních experimentech zajistit jejich vyhodnocení v podobě výkonových charakteristik, které opět korespondují s teorií popsanou výše.

7.1 Simulační model systému hromadné obsluhy

Předně je nutno zmínit, že tento příklad je podrobněji prezentován v (HOLÍK 2009). V rámci této práce je však nutno zmínit hlavní definované parametry a způsob jejich realizace v prostředí Witness, neboť toto je základem pro řešení komplexnějších úloh. Simulační model v prostředí Witness byl sestaven s přihlédnutím k naprogramovaným funkcím a vlastnostem jednotlivých použitých objektů simulačního nástroje. Pro import vstupních parametrů a export výsledných hodnot z obslužných linek sloužících ke sledování průběhu provozních charakteristik simulovaného SHO byla využita provázanost nástroje Witness s tabulkovým editorem Microsoft Excel. Simulační model využívá ke zjištění základních provozních charakteristik SHO (EK, ES, EL) přímo použitých objektů simulačního nástroje. Ostatní provozní charakteristiky jsou z těchto základních statistik dopočítány. Dále je dle (HOLÍK 2009) blíže uveden popis jednotlivých prvků SHO tak, jak byly namodelovány v prostředí Witness pomocí nativních elementů simulačního prostředí.

První krok zmíněný v úvodu experimentální části práce má za cíl umožnit uživateli definovat klíčové parametry zkoumaného systému. V návaznosti na popsanou teorii hromadné obsluhy jde v rámci popisovaného příkladu o popis vstupního toku zákazníků, specifikaci frontového režimu a definici doby obsluhy. Hlavním aspektem, který je v rámci tohoto příkladu demonstrován a který je dále v práci pro dosažení cíle práce použit je způsob modelování intenzity příchodu zákazníků do systému. Přeneseně do podmínek výrobní a zásobovací logistiky tedy:

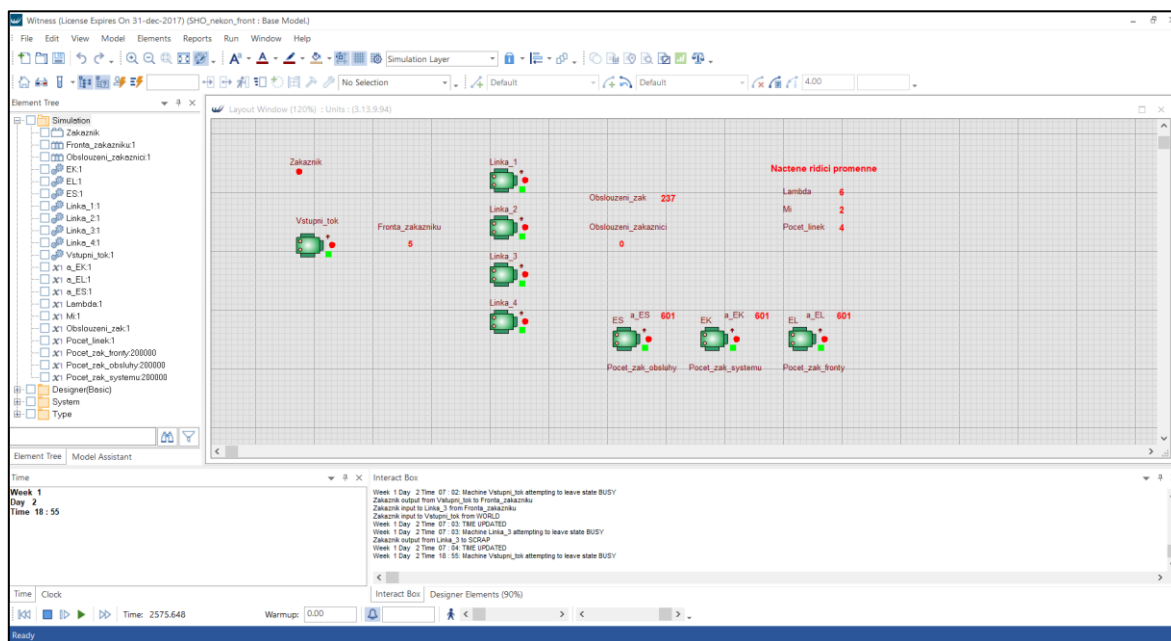
- Intenzita požadavků na zásobování

7.1.1 Vstupní tok zákazníků

Vstupní tok zákazníků je realizován samostatným prvkem typu stroj ve variantě single. V simulačním modelu tedy element s názvem „Vstupni_tok“. Z pohledu praktického systému jde o fiktivní prvek, který má v simulačním modelu za cíl řídit příchod zákazníků k obslužným linkám dle definovaného matematického rozdělení. Tento prvek typu stroj má jako operační čas (Cycle Time) definovanou hodnotu Poissonova rozdělení s parametrem λ ve tvaru „POISSON (60/Lambda)“, v němž je parametr „Lambda“ načítán z Excelu. Dosazením do funkce Poissonova rozdělení dostáváme výslednou hodnotu, která vyjadřuje střední interval mezi vstupy zákazníků do systému. Stroj nemá nastavena žádná vstupní ani výstupní omezení. Vstup zákazníka do modelu zajišťuje vstupní pravidlo PULL. Jelikož jde o první

vstup zákazníka do simulačního modelu, vstupuje dle simulační terminologie tzv. „ze světa“. Zákazník je modelován prvkem součástka s názvem „Zakaznik“ a „ze světa“ vstupuje z toho důvodu, že není brán z žádného předchozího stroje ani do prvku modelujícího vstupní tok nevstupuje přičiněním jiného prvku stroj v simulačním modelu. Posun zákazníka do fronty čekajících zákazníků zajišťuje výstupní pravidlo PUSH. Fronta čekajících zákazníků, která je namodelována prvkem typu zásobník s názvem „Fronta_zakazniku“ je blíže rozebírána v dalších odstavcích, neboť se k ní vážou důležitá nastavení. Zdroj (HOLÍK 2009) blíže popisuje, jak je možno výstupní podmínku stroje „Vstupni_tok“ upravit do podoby vyhovující všem třem základním typům SHO. Systému s omezenou délkou fronty či systému bez front. V podmínkách této práce se však zabýváme základním systémem hromadné obsluhy s nekonečnou délkou fronty. Tedy prostým posunem do fronty čekajících zákazníků.

První zákazník se dostaví do fronty čekajících zákazníků v simulačním čase, který lze popsat jako uplynutí prvního operačního času prvku stroj, jež modeluje vstupní tok. Zde je pro popis fungování simulačního modelu vhodné zmínit, že stroj modelující vstupní tok přijme další součást „Zakaznik“ ihned, jakmile stroj opustí předchozí zákazník. Tento nový zákazník setrvá ve stroji „Vstupni_tok“ do doby, než uplyne další operační čas tohoto stroje. Vzhledem k tomu, že operační čas je vytvořen pomocí matematického rozdělení pravděpodobnosti jsou operační časy náhodné a vytvářejí tak náhodné časové intervaly mezi vstupujícími zákazníky do systému. Náhled simulačního modelu je uveden jako obrázek č. 20. Samotný simulační model a jeho konfigurační soubor, který obsahuje i srovnání simulačních výsledků s analytickým výpočtem je součástí této práce jako příloha č.1 – č.2.



Obr. 20 – Náhled simulačního modelu SHO s nekonečnou délkou fronty (HOLÍK 2009)

7.1.2 Fronta zákazníků čekajících na obsluhu

Jak již bylo zmíněno, fronta zákazníků tvořena zásobníkem s názvem „Fronta_zakazniku“ má teoreticky neomezenou velikost vyplývající z definice úlohy. V rámci simulačního modelu toto nelze nastavit, a proto je zvolena taková velikost, která je považována za dostatečně velkou, pro simulování stavu neomezenosti. Za dostatečně velkou hodnotu v rámci experimentu je považována hodnota 100 000, neboť její zaplnění by minimálně trvalo 100 000 operačních časů stroje „Vstupni_tok“. Zákazníci jsou z fronty čekajících zákazníků vybíráni k obsluze čtyřmi obslužnými linkami dle pravidla FIFO (First In First Out), tj. zákazníci jsou do obsluhy vybíráni v pořadí, v jakém se do fronty zařadili. Ve zdroji (HOLÍK

2009) jsou popsány způsoby, jak modifikovat nastavení fronty pro řešení úlohy SHO s omezenou délkou fronty a SHO bez fronty. Tyto jednoduché modifikace rozšiřují aplikovatelnost simulačního přístupu k řešení těchto úloh ve velmi krátkém čase.

7.1.3 Obslužné linky

Každá s obslužných linek s názvem „Linka_1 – Linka_4“ je realizovaná prvkem typu stroj ve variantě single s hodnotou operačního času ve tvaru „POISSON (60/Mi)“. Parametr s názvem „Mi“ reprezentuje veličinu μ tak, aby výsledkem byla střední doba obsluhy jednoho zákazníka. Parametr „Mi“ je pro potřeby simulačního modelu načítán z programu Microsoft Excel. Obslužné linky jsou namodelovány prvky typu stroj a nejsou zatíženy žádnými vstupními a výstupními pravidly a omezeními. Je-li obslužná linka volná, vyžádá si dalšího zákazníka z fronty čekajících zákazníků (pro ostatní zmíněné SHO dle (HOLÍK 2009) pouze v případě, že systém připouští frontu). Je-li fronta čekajících zákazníků prázdná, linka čeká v neproduktivním stavu na příchod zákazníka do fronty. Ten poté ve frontou pouze prochází. Obslužený zákazník vystupuje z obslužné linky do zásobníku již odbavených zákazníků.

7.1.4 Obsloužení zákazníci

Zásobník s názvem „Obslouzeni_zakaznici“ má z pohledu simulačního modelu pouze informativní charakter. Po uplynutí simulačního času je možné díky němu například zjistit přesný počet obslužených zákazníků. Kapacita tohoto zásobníku je nastavena na maximální možnou hodnotu v simulačním prostředí, a to 100 000.

7.1.5 Získávání výstupních charakteristik

K získávání klíčových charakteristik, jakými jsou střední počet zákazníků v obsluze, v systému a ve frontě slouží namodelované stroje ES, EK a EL. Tyto stroje zjišťují v předem nastaveném intervalu vzorkování aktuální počet zákazníků v obsluze, v systému a ve frontě. Zjištěnou hodnotu zapíše po uplynutí vzorkovacího intervalu do k tomu určené a v simulačním modelu vytvořené proměnné (S – Pocet_zak_obsluhy, K – Pocet_zak_systemu, L – Pocet_zak_fronty). Zápis má podobu zvyšování předchozí hodnoty o nově zjištěnou, zle tedy říci, že jde o neustálé přičítání. Výsledné hodnoty se na konci simulačního experimentu jednorázově zapíše do sešitu programu Microsoft Excel. Hodnoty celočíselných náhodných proměnných S, K, L je možno sledovat pouze diskrétně, nikoliv spojitě. Obsah těchto proměnných je sice možno vypisovat přímo v prostředí Witness, ale z pohledu dalšího zpracování získaných hodnot se export a následná úprava v prostředí Microsoft Excel jeví jako výhodnější řešení díky přívětivosti tabulkového editoru pro tyto činnosti. Provozní charakteristiky jsou po vyexportování vypočítány staticky pomocí vztahu pro aritmetický průměr (součet načítané hodnoty S (resp. K, L) podělený počtem získaných vzorů). Další statistické hodnoty jako počet obslužených zákazníků a délka simulace v simulačních minutách jsou získány přímo jako defaultní statistiky prvku stroj v prostředí Witness.

Zdroj (HOLÍK 2009) se také zabývá otázkou metodiky vyhodnocování simulačních experimentů v daném případě. Je zde možno najít dva přístupy k vyhodnocení. První z popisovaných přístupů je metoda pevného počtu vzorků, tedy normativní metoda. Tato metoda spočívá v tom, že simulační čas běží tak dlouho, dokud se neshromáždí požadovaný (pevný) počet vzorků neboli normativ. Normativ je stanoven na začátku simulace. Druhým přístupem je simulace metodou pevného intervalu vzorkování, tedy časová metoda. Tato metoda je založena na předem zvoleném časovém intervalu, po jehož uplynutí se vždy v rámci simulačního experimentu provede odběr vzorku. Pro úlohy z oblasti výrobní a zásobovací logistiky kdy není předem známo řešení pro možnost porovnání se jako

výhodnější jeví použít časovou metodu. Neboť v tomto případě bude časovým intervalem získávání výsledků právě čas, za něj by měli být veškeré požadované operace vykonány.

7.1.6 Přidaná hodnota pro tuto práci

Přidanou hodnotou pro další kroky k dosažení cíle této práce je bezesporu fakt, že způsob použití prvků typu stroj jako akčních členů mající náhodný operační čas byl prokázán na analyticky řešitelné úloze. Jeho další použití obdobným způsobem je tedy více než vhodné. Rovněž je nutno zmínit, že k získání charakteristických hodnot popisujících interval mezi jednotlivými požadavky, tedy zmíněný operační čas strojů, mohou sloužit některé z metod matematické statistiky, teorie pravděpodobnosti, či metody, jež nejsou založeny na vzorku dat z historie. Zde je možno čerpat inspiraci v předchozí kapitole věnující se získávání dat pro simulační modely.

Metoda statistického vyhodnocení získaných charakteristik ze simulačního experimentu v prostředí Microsoft Excel se také osvědčila a bude nadále včetně zadávání vstupních dat pro simulační experimenty využívána.

V návaznosti na získané zkušenosti z prvního příkladu byl vytvořen příklad druhý, jehož podstatou je ověření možnosti realizace požadavků na přepravu mezi dvěma místy.

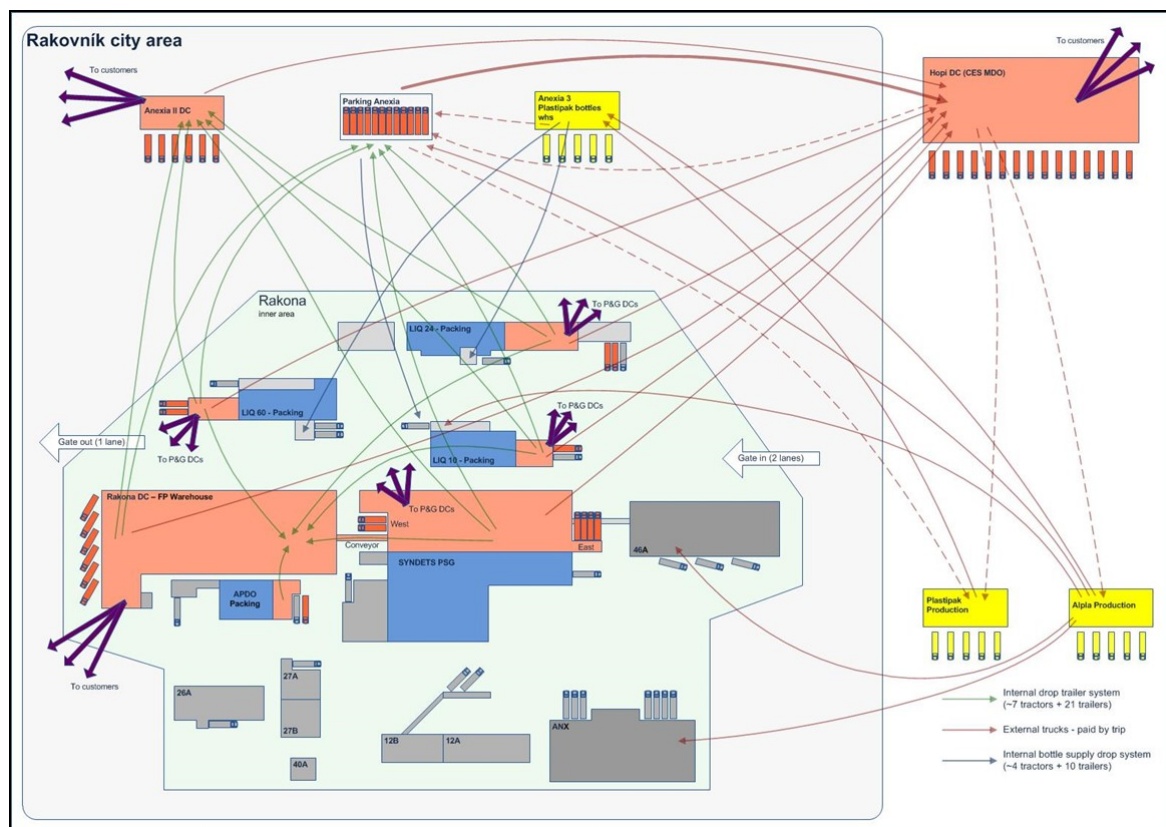
7.2 Simulační model přepravy mezi body síťového grafu

V prvním příkladu byly jednotlivé vazby mezi prvky simulačního modelu popisovány velice detailně, toto vzhledem k složitosti dalšího příkladů není zcela možné, neboť se již předpokládá, jistá znalost čtenáře po absolvování předchozího textu. V textu dále budou popisována jen ta nejdůležitější propojení a jejich konstrukce.

Podstatou druhého příkladu je popsat a ověřit možnost simulace distribučního systému pomocí vhodného propojení vybraných prvků simulačního nástroje Witness. Cílem modelu je prověření dopadů návrhů na změnu organizace dopravy v distribučním systému výrobní společnosti. Tento simulační model byl úspěšně validován a nasazen v praxi jako ověřená technologie v roce 2013.

Výrobní společnost, jejíž organizaci dopravy je předmětem simulace má 23 výrobních linek umístěných v různých částech výrobního závodu. V areálu závodu se také nacházejí sklady a překladiště včetně nakládacích ramp nákladní přepravy. Výrobní společnost přepravuje své výrobky do několika dalších míst a rovněž si sama organizuje dopravu vstupního materiálu. Schéma přepravních vazeb jako jeden z velmi důležitých vstupů je uveden jako obrázek č. 21. Zobecnění do podmínek výrobní a zásobovací logistiky je tento podklad chápán jako:

- Relace, na níž je zásobování realizováno



Obr. 21 – Převážní vazby výrobní společnosti

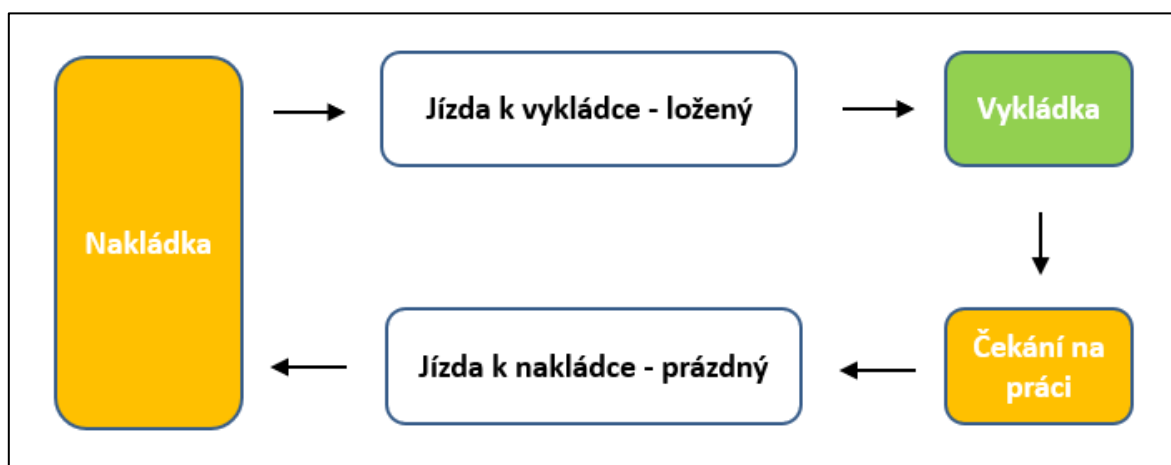
Specifikace návrhů odráží možné přístupy ke snížení investiční náročnosti na neproduktivní jízdy manipulační techniky při zavážce materiálu zákazníkovi. Prvním z návrhů je sdružování manipulačních prostředků do skupin s cílem využít místní a časovou optimalizaci při plnění požadavků na závoz, které mají stochastický charakter. Druhým z návrhů je sdružování manipulačních prostředků do skupin s omezeným přesně definovaným počtem obslužných relací.

7.2.1 Stavba dopravní sítě

Na základě relací je nutno sestavit identickou dopravní síť v simulačním modelu. K tomuto účelu poslouží, v rámci této práce teorií nabízené, síťové grafy. Popis síťového grafu je vhodné vzhledem k širší variabilitě řešených úloh definovat jako popis orientovaného grafu, tedy digrafu. Každá hrana grafu reprezentuje spojnici dvou bodů síťového grafu a existuje k ní protisměrnou hrana. Bodem grafu se v našem příkladu nakládkové či vykládkové místo v areálu společnosti nebo také jen průjezdný bod, ve kterém je křižovatka cest. Podmínky a princip pohybu po takto vytvořeném síťovém grafu byl již dříve také publikován v (HOLÍK 2012). Při stavbě vycházíme z předpokladu, že je možno v simulačním softwaru sestavit mezi každými dvěma body zvláštní spojnici tras, abychom mohli pohyby nejen vyhodnotit ale také graficky sledovat. Chceme-li zvýšit variabilitu použitelnosti modelu, je nutné grafickou stránku řešení pro uživatele obětovat a nahradit jí univerzálním konceptem přepravní relace. Univerzální koncept byl vytvořen na základě znalostí stavebních prvků simulačního programu Witness, zejména vozík (Vehicle) a trať (Track), samostudiem a tvorbou aplikačních příkladů či ověřených technologií v profesní praxi. Univerzální koncept je založen na vytvoření klonovatelného modulu vybraných elementů, které dohromady dávají funkční celek pro realizaci jakékoliv přepravy mezi dvěma vybranými a příslušnými parametry popsány body síťového grafu. Vybraným parametrům se dále věnuje návazná kapitola. Z pohledu propojení prvků vozík a trať byl vytvořen a následně ověřen

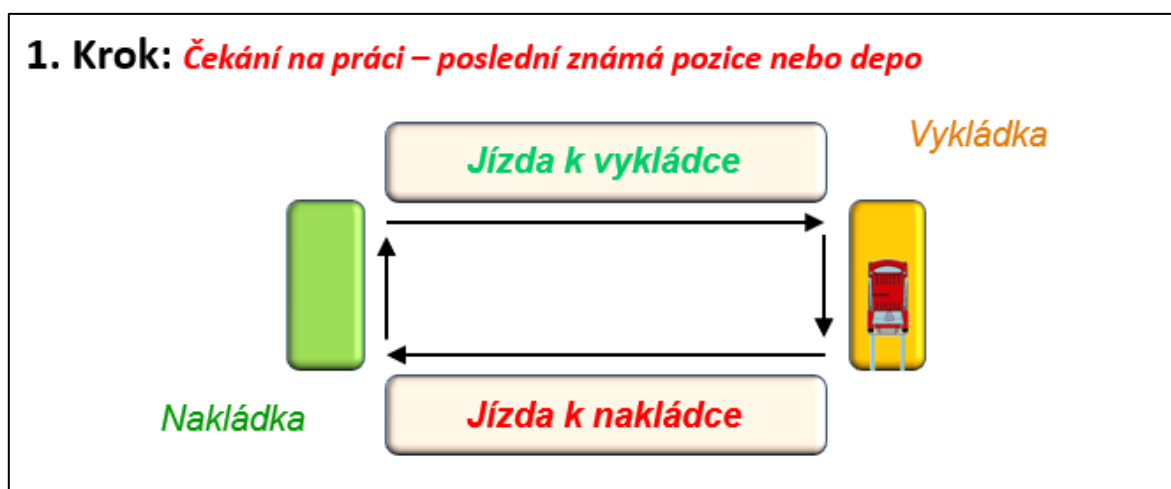
na tomto příkladu, jehož podstatou je využití čtyř elementů typu trať a jednoho vozíků pro každý manipulační prostředek vyskytující se v reálné úloze.

Velkou výhodou tohoto řešení v rámci programového prostředí Witness je skutečnost, že chceme-li řešení rozšířit pro více než jeden manipulační prostředek jde to modulárně velice jednoduše díky práci s „Quantity“ jednotlivých elementů vozík a trať. Celé řešení lze dovést téměř k dokonalosti tím, že veškeré vstupní data, jak bude popsáno dále, jsou načítána ze sešitu MS Excel a to včetně počtu manipulačních zařízení v simulaci a tudíž i velikosti hodnoty „Quantity“ vybraných elementů. Použitím příkazu „SET QUANTITY“ lze docílit na začátku simulace dynamické změny. Samotný koncept o pěti krocích je znázorněn jako obrázek č. 22. Dílčí kroky poté blíže vysvětlují schémata dle obrázků č. 23 – 27, jež jsou uvedeny dále.



Obr. 22 – Princip univerzálního konceptu pohybu manipulačního zařízení mezi dvěma libovolnými body síťového grafu v simulačním prostředí Witness

V prvním kroku navrhovaného konceptu se element vozík, který představuje simulované manipulační zařízení, nachází na pozici, které odpovídá depu či poslední známé pozici v simulaci. Čeká tedy na práci. V simulačním modelu je nutno tuto poslední pozici po jejím dosažení vždy evidovat, aby bylo možno vyslat vozík přesně z místa, kam při předchozí činnosti skutečně dojel. Blíže tento stav znázorňuje obrázek č. 22.



Obr. 23 – Situace v simulačním modelu z pohledu místa výskytu vozíku na trati při čekání na práci

Pro bližší vysvětlení je nutné si uvést, jak je toto schéma transformováno do simulačního modelu.

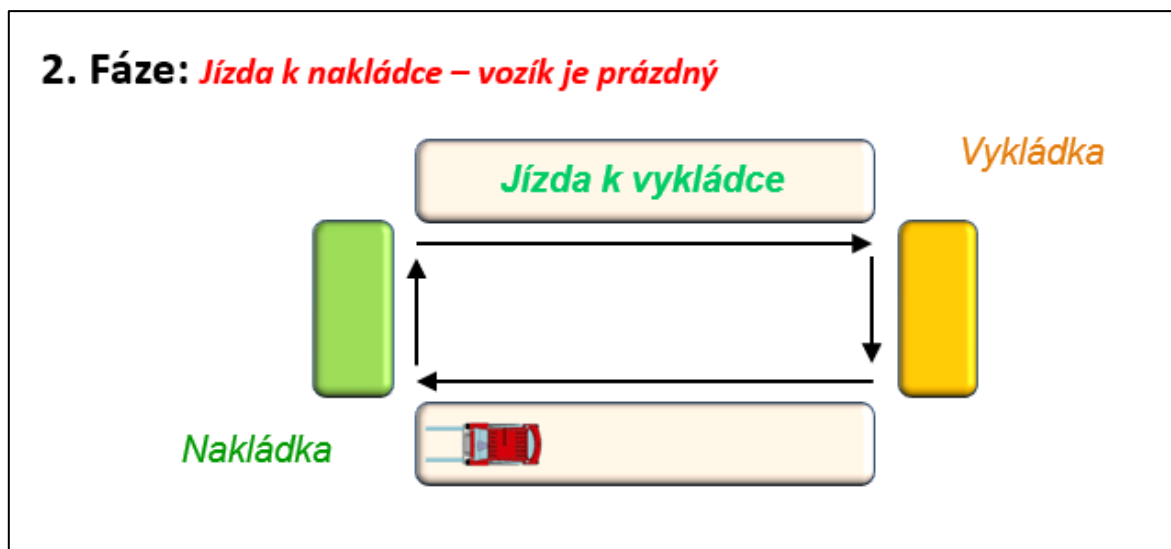
Nakládka je prvkem typu trať, který je definovaný jako nakládkový (Loading). Jeho fyzická délka je nastavena na hodnotu 0, což z něj opravdu dělá trať, na níž se spotřebovává pouze čas nakládky. Druhou nezbytnou činností je naložení předmětu přepravy na vozík v základním a nejjednodušším režimu, režimu „Always“. Toto zcela odpovídá potřebě kladené na tento element. Doba nakládky je nastavena na hodnotu proměnné, které se liší podle místa, ve kterém se nakládka realizuje. Jedná se o hodnotu, kterou lze automatizovaně vyhledávat v matici. Blíže se načítaným hodnotám věnuje následující kapitola.

Vykládka je prvkem typu trať, který je definovaný jako vykládkový (Unloading). Z pohledu definice je téměř totožná jako Nakládka, jen s tím rozdílem, že cílem je spotřebovat pouze čas na vykládku a předmět přepravy poslat dále v simulaci. Režim vykládky je tedy nastaven jako „Always“ a doba trvání vykládky je proměnnou, kterou lze podle místa vykládky vyhledávat v matici. I zde platí, že se načítaným hodnotám blíže věnuje následující kapitola.

Jízda k vykládce je opět prvkem typu trať jejíž cílem je realizovat jízdu mezi nakládkovým a vykládkovým místem. Aby tato místa mohla být libovolná, je nutné fyzickou délku trati, které je definována jako obecná (General) na proměnnou, jejíž délka je opět maticově vyhledávána na základě znalosti místa nakládky a vykládky. Po této trati se vozík může pohybovat rychlostí, které odpovídá stavu ložený.

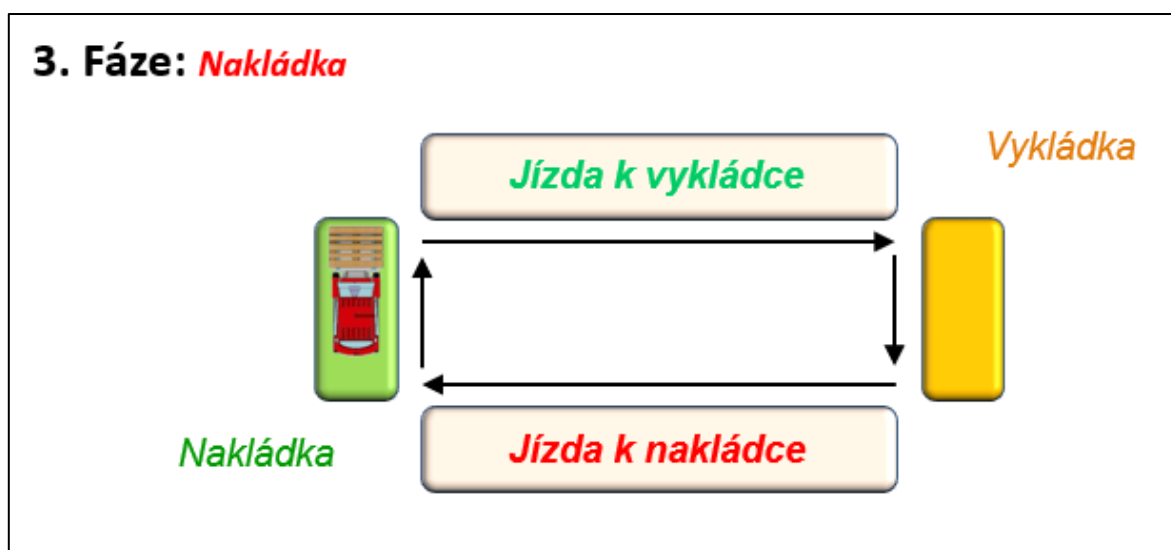
Jízda k nakládce je obecnou tratí stejně jako jízda k vykládce s tím rozdílem, že její podstatou je simulovat jízdu ve stavu prázdný z poslední známé pozice do místa nakládky. Její fyzická vzdálenost je tedy obdobně definována jako proměnná, v níž lze vyhledávat na základě znalosti místa poslední známé pozice vozíku a místa nakládky.

Dále je nutno vymezit stavy, kdy se tato dvě místa rovnají, neboť i taková situace může v rámci jízdy k nakládce nastat. U jízdy k vykládce se jedná o nelogickou jízdu, avšak simulační model jí musí umět připustit. Řešení spočívá v realizaci tzv. „nulové jízdy“, kdy se ve skutečnosti jedná o jízdu po trati s délkou 0 jednotek vzdálenosti, což při známé rychlosti způsobí dobu trvání jízdy 0 časových jednotek. Po vysvětlení jednotlivých elementů je možno pokračovat v kroku dva dle obrázku č. 24. Další krok nastává v režimu nakládky „Always“ tehdy, vyskytuje-li se vozík na trati s tímto nastavením. Je nutné tedy posun na tuto trať podmínit stavem, že je co nakládat čili že dorazil požadavek na přepravu. Z pohledu prvků simulačního modelu je příchozí požadavek, který ve formě atributů obsahuje parametry jízdy zařazen do zásobníku požadavků k přepravě. Počet takových zásobníků odpovídá počtu simulovaných manipulačních zařízení obdobně jako tratě a vozíky. Zásobník není nijak zvláštně nataven. Podmínka přechodu na trať k nakládce je konstruována jednoduše tak, že připouští posun v případě, že počet prvků v odpovídajícím zásobníku je větší než 0.



Obr. 24 – Situace v simulačním modelu z pohledu místa výskytu vozíku na trati při jízdě k nakládce

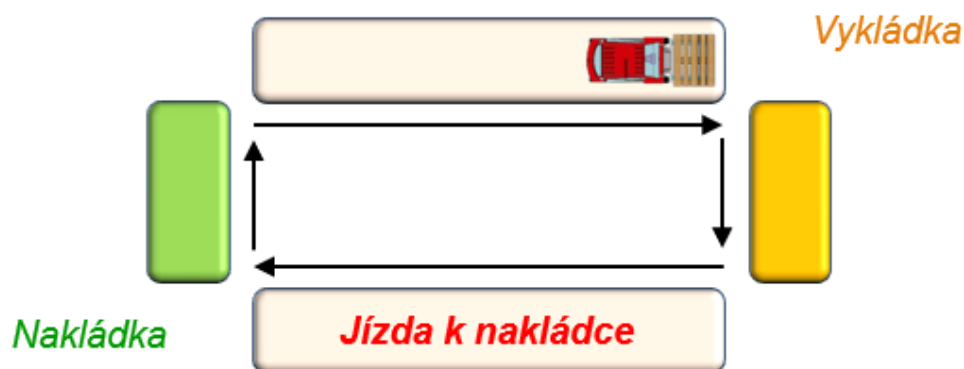
Z trati s názvem jízda k nakládce přechází vozík automaticky na trať nakládky nepodmíněně. Tento stav je znázorněn na obrázku č. 25.



Obr. 25 – Situace v simulačním modelu z pohledu místa výskytu vozíku na trati při nakládce

Nakládka je realizovaná pravidlem PULL jakožto základním pravidlem pro tah prvku součást z příslušného zásobníku požadavku k přepravě. Součástí představující požadavek k přepravě se poté nachází na vozíku, který je simulovaným manipulačním zařízením. Vozík po provedení a spotřebování příslušného času nakládky pokračuje nepodmíněně na trať s názvem jízda k vykládce, jak ukazuje obrázek č. 26.

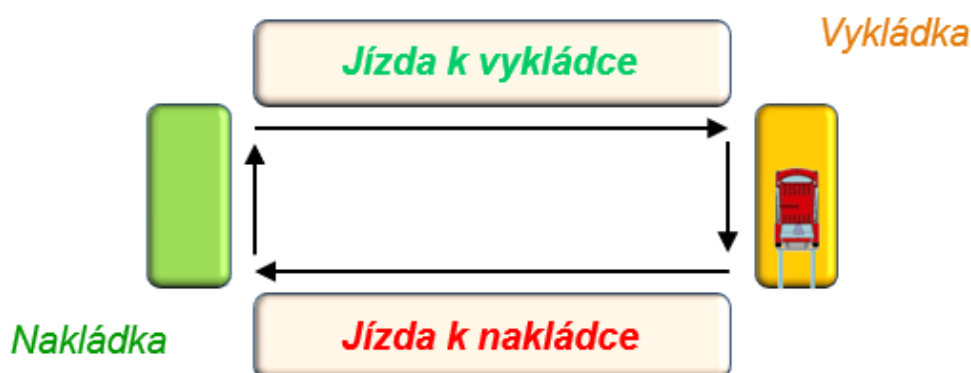
4. Fáze: *Jízda k vykládce – vozík je ložený*



Obr. 26 – Situace v simulačním modelu z pohledu místa výskytu vozíku na trati při jízdě k vykládce

Po absolvování jízdy k vykládce přechází vozík nepodmíněně na trať vykládky, kde dojde k fyzickému vyložení přepravované součástky díky režimu „Always“ do připraveného prvku typu stroj či zániku přepravované součástky (Scrap). Jedná-li se o distribuční úlohu, je možno požadavek zaevidovat jako realizovaný a součástku odstranit z modelu tím, že je poslána do Scrap. V jiných úlohách je možno ji z připraveného stroje dále poslat do modelu k dalšímu zpracování v dalších částech modelu. Stroj k odstranění součástky či jejímu směřování dále do modelu je opět ve stejné „Quantity“ jako počet simulovaných manipulačních zařízení. V trati vykládka dochází ještě k jedné důležité skutečnosti, a to je evidence poslední polohy vozíku do příslušné proměnné, tak aby se tento záznam dal použít při další jízdě daného manipulačního zařízení. Stav vykládky je zobrazen dále na obrázku č. 27. Po provedení vykládky vozík v simulačním modelu zůstává na trati s názvem Vykládka, pokud není splněna podmínka pro jeho další posun opět na trat jízda k nakládce.

5. Fáze: *Vykládka*



Obr. 27 – Situace v simulačním modelu z pohledu místa výskytu vozíku na trati při vykládce

Následující kapitola se blíže věnuje získání a použití dat pro simulaci přepravy v definovaném areálu s použitím výše popsaného univerzálního konceptu cyklického pohybu manipulačního zařízení.

7.2.2 Charakteristické údaje jízdy, nakládky a vykládky

Z pohledu načítaných dat do simulačního modelu z předem připravených tabulek tabulkového editoru MS Excel je vhodné začít u počtu simulovaných manipulačních zařízení a pokračovat popisem časů jízdy, nakládky, respektive vykládky, které jsou přímo navázány na místa nakládky a vykládky.

Simulační model úspěšně z definičního sešitu MS Excel jako základní parametr simulace načítá právě počet simulovaných manipulačních zařízení formou speciální proměnné datového typu „Integer“. Obsahuje po načtení tato proměnná hodnotu například 5, vytvoří se v simulačním modelu automaticky díky funkci SET QUANTITY příslušné elementy typu vozík a trať, jak již bylo uvozeno dříve, a to v množství 5. Jedná se o Nakládkovou a vykládkovou trať, trať reprezentující jízdu k nakládce, trať reprezentující jízdu k vykládce a vozík realizující přepravu. Syntaxe této funkce je následující:

„SET QUANTITY“mezera<název_elementu_typu_vozík_či_trať>mezera<počet_kusů>

Z pohledu definice požadavku na přepravu je nutností, aby byl tento popsán informací o místě nakládky a vykládky, době trvání nakládky a vykládky, době trvání jízdy k vykládce a době trvání jízdy k nakládce, pokud se tato realizuje. K tomu, aby byly správné údaje o jízdě definovány správnému požadavku jsou použity elementy simulačního modelu typu proměnné (Variables).

Proměnná je z podstaty věci elementem simulačního nástroje, která je vhodně pojmenována (například: „Doba_nakladky“ či Bod_Odkud) a umožňuje definovat vlastnosti elementů typu součástka ve čtyřech základních datových typech. Jedná se o celé číslo (Integer), reálné číslo (Real), text (String) a název (Name). Název proměnné nesmí obsahovat mezery a znaky s diakritikou. Každý aktuální požadavek k přepravě tedy vyžaduje vyplnění pěti základních údajů do specifických proměnných, které jsou poté použity v simulačním modelu právě jako doba nakládky, doba vykládky, informace o místě nakládky, informace o místě vykládky a informace o aktuální pozici vozíku. Pro univerzálnost je množství (Quantity) každé této proměnné stejné jako počet simulovaných manipulačních zařízení, vše tedy pracuje s indexovanou vazbou. Zvolím-li si, že index 4 reprezentuje v simulačním modelu například vysokozdvizný vozík, veškeré vazby týkající se tohoto manipulačního vozíku řeším v rámci indexu 4. Znamená to, že posílám-li vozík z trati nakládka na trať jízda k vykládce, která má stejný index (v našem případě index 4), stačí napsat místo čísla 4 zástupnou proměnnou N a simulační model toto spojení realizuje. Zároveň se tímto zajistí, že v množství daného elementu bude fungovat i pro index=1, index=2 až do hodnoty množství (Quantity) tohoto elementu. Tedy trať nebo vozík. Elementy a proměnné se v simulačním modelu indexují takto: Element(index), Proměnná(index). Index může být obsažen ve vnořené proměnné, což může celé řešení programátorsky posunout dále. Není to však v tomto případě nezbytné.

Pro specifikace místa nakládky a vykládky je využit také systém indexace. Stačí tedy body síťového grafu vhodně indexovat, například počínaje číslem 1 a příslušný index nakládkového a vykládkového místa před samotnou přepravou do příslušné proměnné uložit. Znalost a indexace nakládkového a vykládkového místa spolu s časy těchto operací byly popsány také v (HOLÍK 2012). Jsou-li body síťového grafu indexovány je toto využito pro definici matic, které jsou načteny z definičního sešitu MS Excelu a obsahují informace o dobách nakládky a vykládky v jednotlivých bodech síťového grafu. Tento podklad je možno připravit dopředu před stavbou simulačního modelu a je takto snáze měnitelný. Což je další nesporný přínos tohoto řešení. Z pohledu výrobní a zásobovací logistiky je tento podklad chápán jako:

- Doby nakládky a vykládky v jednotlivých bodech síťového grafu, což je možno definovat i ve vazbě na konkrétní manipulační zařízení

Příklad vytvořené tabulky pro řešenou ověřenou technologii rozšířen do podoby, která umožňuje specifikovat čas dle typu manipulačního zařízení, je prezentován jako tabulka č. 14.

Tab. 14 – Náhled definiční matice pro specifikaci nákladkového času pro bod síťového grafu a manipulační zařízení, tabulka je načtena do příslušné proměnné simulačního modelu

Nakládkový čas											
Bod / Man. Prostř.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bod č. 1	1	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 3	0.5	1	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 4	1	0.5	0.5	0.5	12	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 5	0.5	0.5	2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 11	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 12	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 13	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bod č. 14	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Indexace pro použití v modelu v dané matici je poté zřejmá. Prvním indexem v této proměnné reprezentující nákladkový čas bude index sloupce, čili index bodu nakládky. Druhým indexem bude index řádků, čili index manipulačního prostředku, v našem případě zástupná proměnná „N“. Důvodem je výše popsaná přidaná hodnota tohoto řešením, kdy toto bude vždy použito ve stejném indexu nákladkové trati jako příslušného vozíku. Totožným způsobem je řešena i doba vykládky na vykládkové trati.

Posledním chybějícím parametrem jsou doby jízdy. Tyto můžeme sloučit do jedné definiční matice, neboť vždy dochází k vyhledávání na základě relace přepravy v obecné rovině, tedy Odkud – Kam. Odlišnosti pro jednotlivé jízdy byly popsány v předchozí kapitole. Víme-li že jsou body síťového grafu indexovány, je vzhled matice poměrně triviální. Jde o souměrnou matici vzdáleností mezi body síťového grafu, které má na diagonále nuly. Vzdálenosti proto, že manipulační prostředek má definovanou rychlost pohybu a nám pro vyjádření času jízdy chybí znát fyzická vzdálenost, která se vkládá jako parametr trati reprezentující jízdu k nakládce či k vykládce. Náhled připravené tabulky pro načtená v MS Excelu je uveden jako tabulka č. 15. Zároveň je vhodné uvést, že v podmínkách výrobní a zásobovací logistiky je tento charakteristický parametr chápán jako:

- Relační vzdálenosti mezi body síťového grafu

Tab. 15 – Náhled definiční matice pro specifikaci relačních vzdáleností mezi body síťového grafu, tabulka je načtena do příslušné proměnné simulačního modelu

Vzdálenosti mezi body sítě [km]									
Název bodu	Odkud / Kam	1	2	3	4	5	6	7	8
Sklad	1	0.000	0.063	0.104	0.111	0.199	0.042	0.054	0.067
hala 1	2	0.063	0.000	0.062	0.068	0.157	0.083	0.094	0.107
lahve 1	3	0.104	0.062	0.000	0.024	0.113	0.127	0.138	0.151
lahve 2	4	0.111	0.068	0.024	0.000	0.106	0.133	0.145	0.157
bod 5	5	0.199	0.157	0.113	0.106	0.000	0.227	0.238	0.251
bod 6	6	0.042	0.083	0.127	0.133	0.227	0.000	0.012	0.024
bod 7	7	0.054	0.094	0.138	0.145	0.238	0.012	0.000	0.013
bod 8	8	0.067	0.107	0.151	0.157	0.251	0.024	0.013	0.000
bod 9	9	0.082	0.122	0.168	0.147	0.242	0.040	0.028	0.015
bod 10	10	0.085	0.123	0.170	0.150	0.245	0.040	0.029	0.016
bod 11	11	0.018	0.063	0.100	0.106	0.202	0.040	0.051	0.056
bod 12	12	0.031	0.076	0.113	0.119	0.214	0.052	0.064	0.043
bod 13	13	0.044	0.088	0.125	0.132	0.227	0.054	0.043	0.030
bod 14	14	0.058	0.102	0.140	0.146	0.241	0.058	0.047	0.034

Indexace pro použití v modelu v dané matici je díky symetričnosti jednoduchá. Prvním indexem pro nalezení správné hodnoty v matici vzdáleností je index bodu odkud jízdu provádím (Bod_Odkud(N)) a druhým indexem je index bodu kam jízdu realizuji (Bod_Kam(N)). V závorkách jsou uvedeny syntaxe pro dané proměnné.

Simulační model řízený tabulkami v prostředí MS Excel a mající povahu navrhovaného výsledku práce je součástí této práce jako příloha č.3 - č.5.

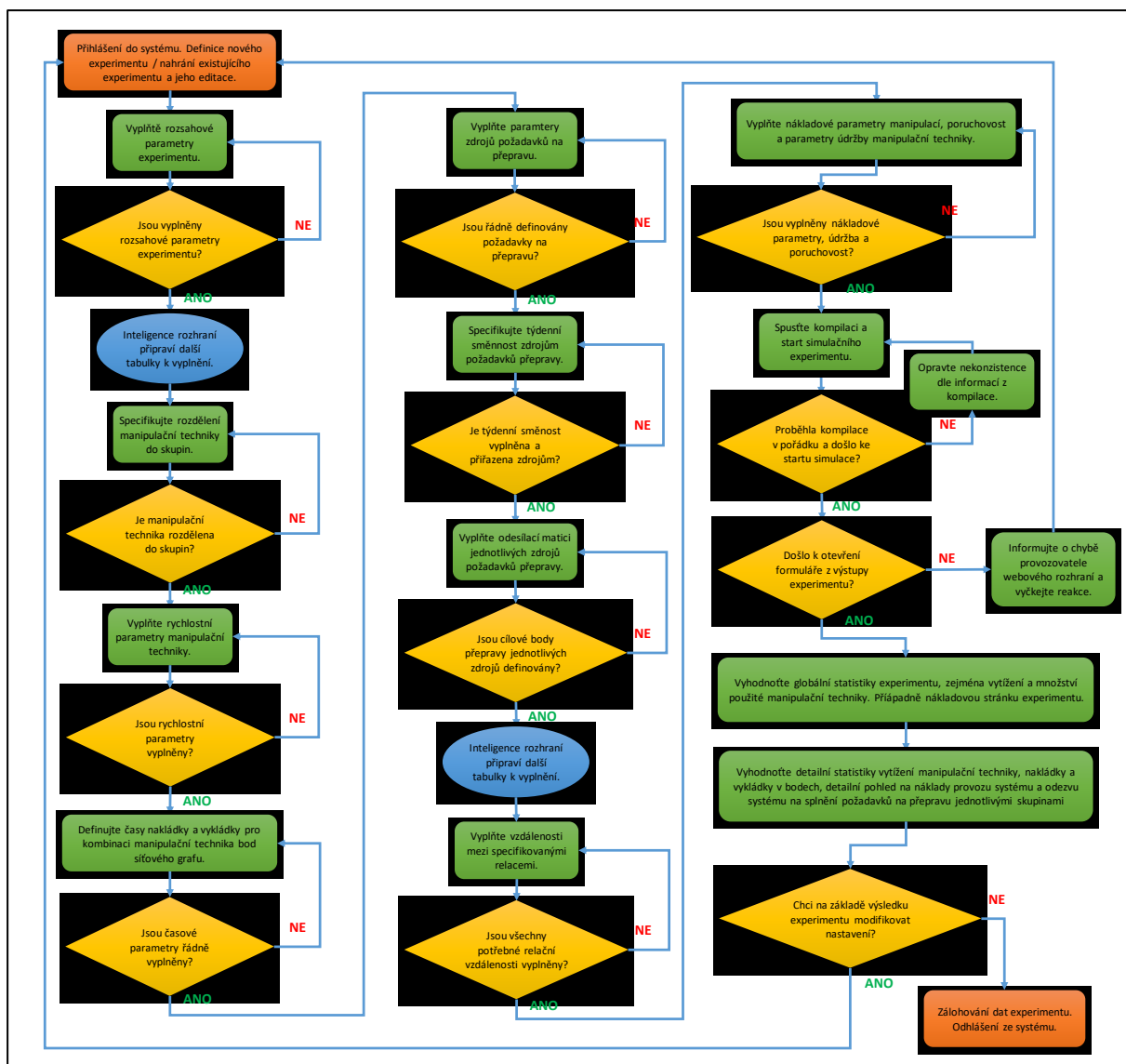
8 Parametrizovatelný simulační model procesu výrobní a zásobovací logistiky

Na základě validace a verifikace fungování experimentálních modelů uvedených v kapitole 5 bylo vyvinuto výsledné řešení v podobě parametrizovatelného simulačního modelu který reflektuje rozsahové možnosti simulačního nástroje a zohledňuje v maximální možné míře obecnosti možnost simulovat libovolný systém výrobní a zásobovací logistiky. Jako definiční prostřední pro simulační model bylo provedeno nahrazení jednoduchého řešení v podobě tabulek v sešitu MS Excel za webové rozhraní, do něhož byly implementovány veškeré ověřovací funkcionality v podobě inteligentních algoritmů, které pomáhají uživateli s validací zadání a s vyplněním jen těch parametrů zkoumaného systému, které bude simulační experiment doopravdy potřebovat. Veškeré vstupní a výstupní tabulky jsou v rámci této kapitoly zobrazeny tak, jak vypadají v aktuální verzi webového rozhraní, čímž bude demonstrováno dosažení sekundárního cíle práce.

Metoda práce se simulačním modelem vybaveným webovým rozhraním je v úvodní podkapitole popsána vývojovým diagramem, který potenciálního uživatele přesně naučí a navede, jak model používat a vyplnit vstupní parametry, aby bylo možné provést korektní simulační experiment a poté vyhodnotit výsledky provedeného simulačního experimentu.

8.1 Metoda práce se simulačním modelem

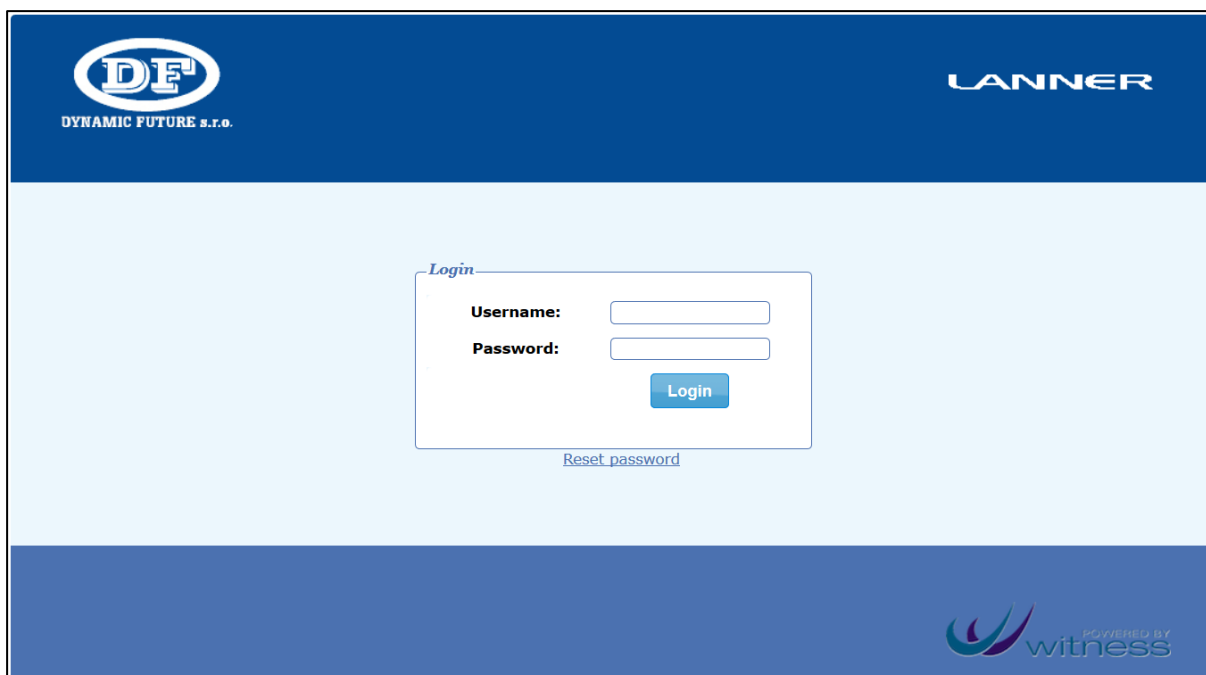
Metoda práce s vytvořeným simulačním modelem je díky vytvořenému webovému rozhraní v podstatě transformována do metody práce s webovým ovládacím rozhraním simulačního modelu. Díky tomuto řešení je zajištěna lepší orientace uživatele v zadávaných a výstupních tabulkách a grafech, eliminace jinak nutné znalosti a vlastnictví simulačního software, neboť simulační experimenty je možno provádět na vzdálených serverech zprostředkovaně a v neposlední řadě také postupná inteligentní příprava dat k vyplnění. Webové rozhraní je aktuálně dostupné na webové adrese: <http://df-happ.witness.cz/> pod uživatelským přihlašovacím jménem a heslem. Po úspěšném přihlášení je uživateli doporučeno postupovat dle zmíněné metody práce, která je v následujících kapitolách doplněna o vysvětlení k jednotlivým vstupním a výstupním tabulkám. Pro možnost prezentace a širšího využití je webové rozhraní celé v anglickém jazyce. Vývojový diagram metody práce je uveden jako obrázek č. 28.



Obr. 28 – Vývojový diagram metody práce s ovládacím webovým rozhraním simulačního modelu

8.2 Přihlášení do systému

Po zadání validního uživatelského jména a hesla na přihlašovací obrazovce dle obrázku č. 29 se uživateli zobrazí karta nastavení (SETTINGS) s možností editace kontaktních údajů a přehledu definičních a výstupních tabulek, ke kterým má právo přístupu. Lze tedy říci, že webové rozhraní disponuje úrovnovým administrátorským přístupem, což však nemá žádný vliv na výsledek práce.



Obr. 29 – Přihlašovací obrazovka ovládacího rozhraní

Po opětovném stisknutí karty SETTINGS dojde k otevření záložek, které umožní uživateli zmíněnou editaci vlastního profilu a primárně buď vytvoření nového experimentu (New Project) či nahrání existujícího experimentu ze záložního souboru ve formátu archívu .ZIP (Open project). K této kartě je v průběhu přihlášení jakožto ke všem ostatním volný přístup, nicméně je doporučeno dodržovat metodu práce zejména při vyplňování parametrů experimentu. Záložka (Save project) slouží k vytvoření zálohy aktuálně rozpracovaného experimentu do podoby archívu .ZIP.

8.2.1 Definice nového experimentu

Definice nového experimentu nastává vždy, začíná-li se uživatel zabývat novým systémem či vytvořit existující experiment od začátku. Po stisku záložky (New project) má uživatel možnost vyplnit základní rozsahové parametry experimentu a případně předdefinovat některé časové a rychlostní parametry, zejména jde-li o globální hodnoty. Tato možnost je zde zařazena čistě z důvodu možné úspory času. Každý otevřený formulář disponuje nápovědou, které dokáže uživateli také přiblížit formát a strukturu zadávaných informací. K dokončení tohoto kroku je nutné požadavek potvrdit stiskem (Create new project). V podmínkách definičních tabulek MS Excelu jde pouze o vymezení rozsahu základních matic pro simulaci. Náhled formuláře pro vytvoření nového experimentu je uveden jako obrázek č. 30.

DF
DYNAMIC FUTURE s.r.o.

INPUT DATA SIMULATION OUTPUT DATA SETTINGS HELP ABOUT LOGOUT

My profile New project Open project Save project

New project ?

Number of vehicles (max. 999):

Number of trains (max. 10):

Number of generators (max. 999):

Number of groups (max. 999):

Number of points (max. 999):

Number of shifts (max. 25):

Global load time [min]:

Global unload time [min]:

Global speed of loaded vehicles [km/h]:

Global speed of unloaded vehicles [km/h]:

Default shift for all generators:

- ☐ none
- ☐ NONSTOP Monday - Sunday
- ☒ NONSTOP Sunday 22 - Friday 22
- ☐ Monday - Friday 6-22
- ☐ Monday - Friday 6-18
- ☐ Monday - Friday 6-14

Create new project

Obr. 30 – Definiční formulář pro nový experiment

8.2.2 Editace stávajícího experimentu

V případě stávajícího experimentu má uživatel možnosti stisku záložky (Open project) a vyhledat v počítači záložní archiv .ZIP se svým rozpracovaným či dokončeným experimentem, se kterým chce pokračovat. Z pohledu cíle práce se jedná pouze o prvek komfortnější práce s výsledkem řešení pro uživatele. Náhled formuláře pro vyhledání záložního archivu a tlačítka pro potvrzení načtení je uveden jako obrázek č.31.

DF
DYNAMIC FUTURE s.r.o.

INPUT DATA SIMULATION OUTPUT DATA SETTINGS HELP ABOUT LOGOUT

My profile New project Open project Save project

Open project ?

Import from ZIP

File

Import file

Obr. 31 – Formulář pro načtení již existujícího experimentu

8.3 Definice rozsahových parametrů experimentu

Při vytvoření nového experimentu či načtení stávajícího je prvním krokem vždy definice či případná editace rozsahových parametrů zkoumaného systému ve formě simulačního experimentu. Mezi základní rozsahové parametry, které vyplývají z provedených příkladů a ověřených technologií popsaných v předchozí kapitole patří následující parametry. Náhled definičního formuláře s možností rozkliknutí každého parametru separátně do podoby výčtu prvků a jejich editovatelného názvu, je zobrazen jako obrázek č. 32. Obrázek č. 32 rovněž ukazuje, jak je možné získat nápovědu k vyplnění po přejetí kurzoru na symbol písmena „i“ v modrém plném kruhu.

Obr. 32 – Formulář pro definici základních rozsahových parametrů experimentu

- Definice simulačního období (Define)

Zde je nutno specifikovat kalendářní začátek a konec simulace. Jako vhodná hodnota se jeví měsíc nebo nejméně týden s alespoň týdenní náběhovou periodou pro ustálení systému a odstranění zkreslení náběhem ve výstupních statistikách. Tato funkcionality je obdobou ustálení systému v teorii hromadné obsluhy.

- Počet manipulačních zařízení (Number of vehicles)

Počtem manipulačních zařízení se rozumí každé manipulační zařízení jako například vysokozdvizný vozík či nákladní automobil, jehož činnosti můžeme v cyklickém režimu dle kapitoly 5 popsat a chceme jej zahrnout do zkoumaného systému.

- Počet zdrojů požadavků na přepravu (Number of generators)

Počtem zdrojů požadavků na přepravu či generátorů požadavků na přepravu se rozumí jakýkoli zdroj, které v reálném procesu vyžaduje realizaci přepravy. Může jít o výrobní linku pracující v taktu, jednorázový převoz materiálu, který se periodicky opakuje, či obecnou činnost u níž je uživatel schopen definovat interval mezi výskyty požadavků na přepravu.

- Počet skupin manipulačních zařízení (Number of groups)

Skupinou manipulačních zařízení se rozumí členění fyzických manipulačních zařízení do pracovních či atrakčních skupin. Skupiny slouží k tomu, aby požadavky na přepravu byly realizovány skupinami manipulační techniky nikoli jednotlivými vozíky. Tento stav je však také nastavitelný v případě, kdy má každý kus manipulační techniky vlastní skupinu. Tento parametr umožňuje uživateli optimalizovat práci v rámci skupiny manipulační techniky, což je častá úloha v podmínkách výrobní a zásobovací logistiky.

- Počet bodů síťového grafu (Number of points)


Bodem síťového grafu se rozumí každé místo v simulovaném systému, které nějakým způsobem vyžaduje obsluhu. Zejména tedy nakládku či vykládku. Body reprezentují fyzická místa výrobních podniků, skladů či mohou představovat například lokaci města při simulaci meziměstských přeprav.

- Počet směn (Number of shifts)

Každý zdroj požadavků na přepravu může pracovat v odlišné týdenní směně. Směnou je myšlena dostupnost daného zdroje a jeho práce v týdenním kalendářním cyklu. Kalendář simulačního modelu nepřipouští svátky a jiné dny pracovního klidu. Stav mimo pracovní cyklus lze navodit tedy pouze v rámci definované týdenní směny.

8.4 Dělení manipulačních zařízení do skupin

Po úspěšném vyplnění základních rozsahových parametrů připraví inteligence webového rozhraní na pozadí další tabulky pro vyplnění parametrů simulačního experimentu. Metoda práce vede uživatele dále k rozdělení manipulačních zařízení do skupin, kam se dostane ze základní karty vstupních dat (INPUT DATA) pomocí záložky (Group of vehicles). Z předchozí kapitoly je zřejmé, že chceme-li dedikovat práci každému kusu manipulační techniky zvlášť, musí být každý kus zařazen do zvláštní skupiny. Každý kus manipulační techniky musí mít z rolovacího seznamu, který zajišťuje ochranu před nekonzistentním zadáním, vybrán index (sloupec Group) vytvořené skupiny a musí být definován také počáteční bod výskytu dané manipulační techniky v simulačním modelu. Důvod tohoto zadání je blíže vysvětlen v ověřené technologii v kapitole 5. Náhled definičního formuláře s parametry, kterou jsou předmětem přiloženého testovacího příkladu k této práci je uveden jako obrázek č. 33.



Group of vehicles


Number of vehicle	Name of vehicle	Group	Start position	Number of train
1	Fork lift truck 1	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="NULL"/>
4	Vehicle 4	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="NULL"/>
3	Vehicle 3	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="NULL"/>
5	Vehicle 5	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="NULL"/>
6	Vehicle 6	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="NULL"/>
2	vozák 2	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="NULL"/>
7	Vehicle 7	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="46"/>	<input type="text" value="NULL"/>
8	Vehicle 8	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="34"/>	<input type="text" value="NULL"/>
9	Vehicle 9	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="34"/>	<input type="text" value="NULL"/>

Obr. 33 – Formulář s tabulkou pro definici dělení manipulační techniky do skupin

Definiční sloupec identifikující číslo vláčků (Number of train) by měl zůstat nevyplněn. Jedná se o vývojovou funkcionalitu pro další rozšiřování parametrizovatelného simulačního modelu.

8.5 Rychlostní parametry manipulační techniky

Z ověřené technologie popsané v kapitole 5 také plyne tento parametr, které je ve zmíněné kapitole zcela vysvětlen, a to včetně principu jeho použití a interpretace v simulačním modelu. Definici rychlostních parametru dokresluje obrázek č. 34, který znázorňuje formulář s políčky pro definici rychlosti v uvedených jednotkách pro každý kus manipulační techniky ve stavu ložený (Loaded speed) a ve stavu prázdný (Unloaded speed). Formulář je vybaven kontrolním mechanismem pro upozornění na vyplnění nelogické hodnoty. Například záporné či nulové rychlosti či nečíselných znaků. Tato kontrolní inteligence je implementována do mnoha formulářů v různé podobě dle povahy zadávané informace.




Loaded and unloaded speed [km/h] ⓘ

Number of group	Number of vehicle	Name of vehicle	Loaded speed	Unloaded speed
1	1	ForkLift 1	<input type="text" value="6.000"/>	<input type="text" value="6.000"/>
2	4	Auto 4	<input type="text" value="8.000"/>	<input type="text" value="12.000"/>
3	3	Vehicle 3	<input type="text" value="6.000"/>	<input type="text" value="6.000"/>
3	5	Tranzit 5	<input type="text" value="6.000"/>	<input type="text" value="6.000"/>
3	6	Vehicle 6	<input type="text" value="6.000"/>	<input type="text" value="6.000"/>
4	2	Vozik 2	<input type="text" value="3.000"/>	<input type="text" value="4.000"/>
4	7	Vehicle 7	<input type="text" value="6.000"/>	<input type="text" value="6.000"/>
5	8	Vehicle 8	<input type="text" value="6.000"/>	<input type="text" value="6.000"/>
5	9	Vehicle 9	<input type="text" value="6.000"/>	<input type="text" value="6.000"/>

Obr. 34 – Formulář s tabulkou pro definici rychlostních parametrů

8.6 Časové parametry nakládky a vykládky

I zde je vhodné se odkázat na ověřenou technologii popsanou v kapitole 5. Tato kapitola přesně vysvětluje interpretaci nakládkového parametru ve vytvořeném modelu, neboť tato validovaná funkcionality byla použita totožně. Uživatel tedy dle formuláře zobrazeného jako obrázek č.35 vyplní pro každou kombinaci manipulační technika – bod síťového grafu čas nakládky na záložce nakládkový čas (load time) respektive vykládkový čas (Unload time). Pro globální vyplnění a zjednodušení práce je formulář vybaven inteligentní funkcí pro souhrnné vyplnění, která umožní vyplnit tabulku po celých řádcích, sloupcích či jako celou matici jednou hodnotou. K tomuto účelu jsou v záhlaví obou tabulek tři políčka pro vyplnění specifikace manipulační techniky, bodu síťového grafu a odpovídající časové hodnoty. Obsahuje-li některý z parametrů znak hvězdičky „*“ dojde k vyplnění všech buněk dle prvního parametru v kombinaci s definovaným druhým parametrem. Jsou-li hvězdičky v obou buňkách, vyplní se celá matice specifikovanou časovou hodnotou. Matice pro specifikaci časových parametrů vykládky je naprosto totožná, pro zde není uvedena.



Time of loading [min] ⓘ

Point

Vehicle

Load time


Group	1	2	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	10
Point/vehicle	1	4	3	5	6	2	7	8	9	10	29	11	12	13	14	15	16	17
Point no.1	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500
Point no.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Point no.3	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500
Point no.4	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500
Point no.5	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500
Point no.6	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500
Point no.7	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500
Point no.8	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500
Point no.9	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500	.500

Obr. 35 – Formulář s tabulkou pro definici časových parametrů nakládky

8.7 Zdroje požadavků na přepravu

Zdrojem požadavku na přepravu neboli generátorem přeprav (Production generator) se rozumí popis akčních členů, které řídí a vyžadují činnost přepravy v simulovaném systému. Obdobně jako v příkladu ověřujícím použití simulačního nástroje Witness pro úlohy teorie hromadné obsluhy (kapitola 5), je nutno specifikovat parametry intervalu mezi výskytem požadavků na přepravu. V teorii hromadné obsluhy se intervaly mezi příchody řídí exponenciálním náhodným rozdělením s příslušným parametrem μ . Pro potřeby této práce bylo exponenciální rozdělení nahrazeno trianglovým intervalovým rozdělením, jehož střední hodnota odpovídá modu či průměru a krajní meze limitním hodnotám. Strmost rozdělení je dána vzdáleností levé či pravé krajní hodnoty od střední hodnoty rozdělení. K této změně vůči teorii hromadné obsluhy bylo přistoupeno zejména proto, že Witness umožňuje rychlou změnu rozdělení pro simulaci určitého parametru, ale také proto, že většina činností ve výrobní a zásobovací logistice má periodický charakter. Tohoto přístupu, myšleno využití střední hodnoty či modu se využívá také v případech, kdy se simuluje doposud neexistující systém.

Uživatel musí tedy z pohledu definice vyplnit bod síťového grafu, kde se daný zdroj požadavků na přepravu nachází, tedy obdobu bodu „Odkud“ z příkladu v kapitole 7. Pro výběr bodu slouží rozbalovací seznam, který eliminuje nekonzistentní zadání (sloupec Number of point). Dále jde o tři parametry náhodného rozdělení, které popisuje interval mezi vygenerováním požadavku na přepravu, kde sloupec MIN symbolizuje levostrannou minimální hodnotu, sloupec MODE symbolizuje střední hodnotu a sloupec MAX pravostrannou hodnotu. Náhled definičního formuláře s tabulkou je uveden jako obrázek č. 36.



Production generator at points [min] ⓘ


Number of generator	Name of generator	Layout point	Interval between transport			Number of train	Used capacity
		Number of point	MIN	MODE	MAX		
1	Linka 1	1	2.000	4.000	5.000	NULL	.000
2	Generator 2	2	3.000	4.000	5.000	NULL	.000
3	Generator 3	3	6.000	7.000	8.000	NULL	.000
4	Generator 4	4	9.000	11.000	13.000	NULL	.000
5	Generator 5	5	5.000	6.000	7.000	NULL	.000
6	Generator 6	6	3.000	4.000	5.000	NULL	.000
7	Generator 7	9	82.000	96.000	110.000	NULL	.000
8	Generator 8	10	82.000	96.000	110.000	NULL	.000
9	Generator 9	18	102.000	120.000	138.000	NULL	.000

Obr. 36 – Formulář s tabulkou pro definici parametru generátoru požadavků na přepravu

Další parametrické sloupce (sloupec Number of train a sloupec Used capacity) by měla zůstat nevyplněna, jedná se opět o vývojovou funkcionalitu rozhraní pro možnost rozšíření univerzálního simulačního modelu.

8.8 Směnnost zdrojů požadavků na přepravu

Definice směnnosti zdrojů požadavků na přepravu vychází ze skutečné situace v reálném výrobním či zásobovacím procesu. Je zřejmé, že některé zdroje či generátory pracují pouze omezenou dobu ve dni či týdnu. Příkladem jsou třeba výrobní linky pracující ve směnovém provozu či zařízení, která mají směnnost právě omezenou. Z tohoto důvodu je zdrojům požadavků a jim definovaným intervalům mezi vygenerovanými požadavky nadřazena právě tabulka, která se nachází na záložce směnnosti generátorů (Generator shifts). Po otevření této záložky má uživatel možnost v patnáctiminutových intervalech vydefinovat směnnost teoreticky každému generátoru zvlášť. Vytvořená směnnost tak přesně odráží disponibilitu daného zdroje požadavků na přepravu dle reálného systému. Formulář pro definici je složen ze dvou částí. První část slouží k přiřazení vytvořené a indexované směnnosti každému generátoru požadavku na přepravu, a to opět formou rozbalovacího seznamu, eliminujícího nekonzistenci a druhá část slouží právě pro specifikaci každé indexované směnnosti. Náhled první části formuláře je uveden jako obrázek č. 37 a náhled druhé části je dále prezentován jako obrázek č.38.



DYNAMIC FUTURE s.r.o.

Shifts i

Number of generator	Name of generator	Selected shift
1	Linka 1	<input type="text" value="1"/>
2	Generator 2	<input type="text" value="2"/>
3	Generator 3	<input type="text" value="3"/>
4	Generator 4	<input type="text" value="1"/>
5	Generator 5	<input type="text" value="2"/>
6	Generator 6	<input type="text" value="1"/>
7	Generator 7	<input type="text" value="1"/>
8	Generator 8	<input type="text" value="1"/>
9	Generator 9	<input type="text" value="1"/>

Obr. 37 – První část formuláře s tabulkou pro přiřazení vytvořené směnnosti ke každému generátoru

V nápovědě pro druhou část formuláře je zmíněna funkce pro možné načtení definice směnnosti z vytvořené tabulky v programu MS Excel. Tato funkcionalita opět šetří čas při definici mnoha buněk u více formulářů ve vytvořeném webovém rozhraní.

Available shifts for selection [min] i

Shift	From	To	Work value
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="Mon 00:00"/>	<input type="text" value="Mon 00:15"/>	<input type="text"/> <input type="button" value="Edit"/>

Please insert the working time for all week in 15 minute intervals. For inserting use the integer numbers from interval 0 - 15 minute. The first 5 shifts are fixed from default setting like new project. You can change these in the table below. For global setting please use the excel export and then the excel import.

Working time/Shift	1	2	3	4	5	6
Mon 00:00 - 00:15	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 00:15 - 00:30	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 00:30 - 00:45	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 00:45 - 01:00	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 01:00 - 01:15	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 01:15 - 01:30	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 01:30 - 01:45	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 01:45 - 02:00	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 02:00 - 02:15	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 02:15 - 02:30	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 02:30 - 02:45	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 02:45 - 03:00	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 03:00 - 03:15	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 03:15 - 03:30	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Mon 03:30 - 03:45	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Obr. 38 – Druhá část formulář s tabulkou pro definici směnnosti použité pro generátory požadavků na přepravu

8.9 Parametry cílových destinací pro zdroje požadavků na přepravu

Funkcionalita popsána v kapitole 5 v rámci specifikace relací jednotlivých požadavků na přepravu byla v rámci výsledného řešení zdokonalena a umožňuje z jednoho zdroje požadavku vytvářet více než jednu přepravní relaci. Počet realizovaných přeprav v relacích z jednoho zdroje je poté deklarován v záložce odesílací matice (Ship matrix) pomocí procentuálních vah. Procentuálními vahami se rozumí pravděpodobnost, s jakou bude daný cíl pro odeslání požadavku na přepravu vybrán. Inteligentní funkce webového rozhraní umí pracovat s touto definicí databázově, tedy tak, že jsou vyplněna pouze ty relace a jim odpovídající váhy, které připadají v úvahu. Není tedy nutno vyplňovat matici každého cílového bodu dle specifikace všech bodů síťového grafu. Formulář je vybaven rozbalovacím seznamem pro výběr cílového bodu relace (sloupec Point to), dále polem pro vyplnění procentuální váhy pro výběr dané relace, které je ošetřeno pro zadání záporných hodnot či nečíselných znaků a také kontrolním mechanismem, který hlídá, aby součet všech vah relací z jednoho zdroje byl roven 100%. Tato kontrola je důležitá pro zajištění korektního náhodného vybírání cíle v průběhu simulace. Dalším velice důležitým parametrem je specifikace skupiny manipulační techniky, která bude přepravu požadavku v dané relaci realizovat. Tento parametr plně koresponduje s funkcionalitou popsanou dříve v ověřené technologii dle kapitoly 5, jeho specifikace je však vylepšena o rolovací seznam pro odstranění nekonzistence. Symbol křížku na konci každého definovaného řádku slouží k jeho vymazání. Náhled formuláře s tabulkou je uveden jako obrázek č. 39.

Obr. 39 – Formulář s tabulkou pro definici přepravních relací jednotlivým zdrojům požadavků na přepravu

8.10 Vzdálenosti použitých relací v rámci simulačního experimentu

Posledním klíčovým definičním parametrem každého experimentu je specifikace vzdáleností pro vybrané relace, jež vznikly dosavadní definicí zkoumaného systému. Webové rozhraní disponuje inteligentním algoritmem, který umí na základě předchozí definice umístění zdrojů požadavků na přepravu a jim odpovídající odesílací matici určit, ve kterých relacích z množiny všech možných bude teoreticky docházet k přepravě. Aplikací tohoto algoritmu je možné výrazně omezit množinu relací, u nichž je nutné znát pro správné fungování modelu jejich vzdálenost. Vzdálenost je nutno vyplnit v uvedených jednotkách, kterými jsou kilometry za hodinu.

Jako příklad je možno uvést úplnou matici vzdáleností, která pro 100 bodů síťového grafu čítá 9 100 potenciálních kombinací (vypočteno jako: $100 \cdot 100 - 100$), které připadají v úvahu pro vyplnění. Implementovaný algoritmus započte definované relace jednotlivých zdrojů, dále potenciální zpětné relace, a to vše kombinovaně v rámci skupin manipulační techniky, neboť jim jsou požadavky v jednotlivých relacích přidělovány. Výsledkem je počet seznam relací, u nichž je nutné vzdálenost zadat. Použitím tohoto algoritmu je možné eliminovat počet vzdáleností vyplnění na hodnotu mezi 5% - 20%. Příkladem je testovací příklad v aplikaci, který obsahuje 77 bodů síťového grafu. To znamená, že v úplné matici popisující orientovaný graf jde o vyplnění $(77 \cdot 77 - 77)$ 5 852 hodnot. Formulář, který je zobrazen v náhledu jako obrázek č. 40 však vzhledem k implementovanému algoritmu, jež respektuje doposud definované vazby, vyžaduje vyplnit pouze 660 hodnot. Což odpovídá $(660/5\,852)$ 11,3% počtu hodnot úplné matice.

Distance matrix between points of transport network [km]

Point from	Point to	Distance
1	2	<input type="text" value="0.0200"/>
2	1	<input type="text" value="0.0200"/>
2	3	<input type="text" value="0.0900"/>
2	4	<input type="text" value="0.0200"/>
2	9	<input type="text" value="0.1000"/>
2	10	<input type="text" value="0.0900"/>
3	1	<input type="text" value="0.1000"/>
3	2	<input type="text" value="0.0900"/>
3	4	<input type="text" value="0.1000"/>
3	5	<input type="text" value="0.0600"/>
3	6	<input type="text" value="0.1400"/>
3	8	<input type="text" value="0.1200"/>
3	9	<input type="text" value="0.1800"/>
3	10	<input type="text" value="0.1700"/>
3	47	<input type="text" value="0.1000"/>

Obr. 40 – Část formuláře s tabulkou pro definici vzdálenosti v relacích, které dle předchozí definice v simulačním experimentu připadají v úvahu

8.11 Nákladové parametry, poruchovost a údržba manipulační techniky

Jelikož je významnou úlohou logistického controllingu také řešení nákladových otázek je v simulačním modelu implementována funkcionalita, které umožní vyjádřit nákladovou stránku experimentu vzhledem k definovaným elementárním nákladům na jednotlivé činnosti. Definovaným elementárním nákladem je myšlen průměrný náklad na realizaci dané činnosti. Realizované činnosti jsou již dříve popsány, a proto vypadají nákladové tabulky totožně jako ty definiční. Důležitým aspektem definice níže uvedených parametrů je také skutečnost, že jejich nevyplnění neovlivní možnosti provedení simulačních experimentů. Nejde tedy o stěžejní parametry k vyplnění.

8.11.1 Nákladové parametry přepravy

Z pohledu nákladových parametrů je možno definovat cenu za provedenou nakládku či vykládku určitým manipulačním prostředkem v určitém místě, neboť v různých místech se náklady mohou lišit. Definiční tabulka na záložce nakládková cena, či vykládková cena (Loading cost, Unloading cost) je totožná i doplňkovými funkcemi s tabulkou pro vyplnění časů nakládky a vykládky. Jejím ukázkou je tedy bezpředmětná. Důležité však je, aby byly náklady uvedeny v požadovaných jednotkách, v rámci této práce byly zvoleny jednotky evropské měny EUR.

Dalším nákladovým parametrem je možnost definice nákladu na ujetou vzdálenost pro manipulační zařízení s detailem na jeho stav. Stavem je myšleno, zda byla vzdálenost ураžena loženým či prázdným manipulačním zařízením, neboť i zde mohou být náklady různé, zejména je-li započítána spotřeba pohonných hmot či opotřebení spotřebního materiálu (například brzdy, pneumatiky) v zátěži. Tyto náklady je možno definovat na záložce přepravních nákladů (Transportation costing) v uvedených jednotkách, které jsou v rámci této práce zvoleny jako náklady v EUR za ujetý kilometr. Náhled formuláře pro specifikaci přepravních nákladů je uveden jako obrázek č. 41. I zde obdobně jako u definice nákladů na nakládku či vykládku jsou implementovány kontrolní mechanismy eliminující zadání záporných hodnot či nečíselných znaků.

Number of group	Number of vehicle	Name of vehicle	Loaded	Unloaded
1	1	ForkLift 1	<input type="text" value=".200"/>	<input type="text" value=".600"/>
2	4	Auto 4	<input type="text" value=".200"/>	<input type="text" value=".600"/>
3	3	Vehicle 3	<input type="text" value=".200"/>	<input type="text" value=".600"/>
3	5	Tranzit 5	<input type="text" value=".200"/>	<input type="text" value=".600"/>
3	6	Vehicle 6	<input type="text" value=".200"/>	<input type="text" value=".600"/>
4	2	Vozik 2	<input type="text" value=".200"/>	<input type="text" value=".600"/>
4	7	Vehicle 7	<input type="text" value=".200"/>	<input type="text" value=".600"/>
5	8	Vehicle 8	<input type="text" value=".200"/>	<input type="text" value=".600"/>
5	9	Vehicle 9	<input type="text" value=".200"/>	<input type="text" value=".600"/>

Obr. 41 – Formulář s tabulkou pro definici přepravních nákladů manipulační techniky podle stavu ložení

8.11.2 Poruchovost manipulační techniky

Poruchovost (Breakdowns) a plánovaná údržba jsou běžnými provozními jevy vyskytující se v reálných procesech výrobní a zásobovací logistiky. Jejich definice by tedy v podmínkách parametrizovatelného simulačního modelu neměla chybět. Pro definici stavu poruchovosti byl využit obdobný přístup validovaný u příchodu zákazníků do systému či generátorů požadavků na přepravu, a sice popis pomocí intervalu mezi výskyty. Pro poruchovost byla využita možnost definovat interval mezi poruchami manipulačního zařízení pomocí omezeného normálního rozdělení s parametry střední doby mezi poruchami (sloupec AVG), směrodatnou odchylkou (sloupec SD), levostranným omezením (sloupec MIN) a pravostranným omezením (sloupec MAX). Definiční formulář je také vybaven rozbalovacím seznamem pro povolení či zakázání poruchovosti u konkrétního kusu manipulační techniky. Aktivní poruchu symbolizuje výběr hodnoty 1 v rozbalovacím seznamu. Tato funkcionality umožní rychlé vyhodnocení dopadu poruchovosti vůči bezporuchovému stavu. Náhled definičních formulářů je uveden jako obrázek č. 42 a č. 43. Je zde nutno uvést, že formulář se skládá ze dvou částí, kdy první z nich slouží k definici intervalu mezi poruchami a druhá část slouží k specifikaci doby trvání poruchy. Pro definici doby trvání poruchy bylo zvoleno z pohledu simulačního nástroje tzv. uživatelské rozdělení, jehož definice je totožná jako databázový způsob vytváření přepravních relací ze zdrojů požadavků přepravy na záložce odesílací matice (Ship matrix). Druhá část formuláře je také vybavena totožnými kontrolními mechanismy.

Breakdown interval [min] ⓘ

Number of group	Number of vehicle	Name of vehicle	MIN	MAX	AVG	SD	USED YES/NO
1	1	ForkLift 1	20.000	4500.000	900.000	60.000	0 ▼
2	4	Auto 4	20.000	4500.000	900.000	60.000	1 ▼
3	3	Vehicle 3	20.000	4500.000	900.000	60.000	1 ▼
3	5	Tranzit 5	20.000	4500.000	900.000	60.000	1 ▼
3	6	Vehicle 6	20.000	4500.000	900.000	60.000	1 ▼
4	2	Vozik 2	20.000	4500.000	900.000	60.000	1 ▼
4	7	Vehicle 7	20.000	4500.000	900.000	60.000	1 ▼
5	8	Vehicle 8	20.000	4500.000	900.000	60.000	1 ▼
5	9	Vehicle 9	20.000	4500.000	900.000	60.000	1 ▼

Obr. 42 – První část formuláře s tabulkou pro povolení poruchovosti a definici intervalu mezi výskytem poruch pro konkrétní manipulační zařízení

Breakdown duration percentage [min, %] ⓘ

Number of vehicle	Duration	Percentage	
2	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>	
3	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>	
4	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>	
5	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>	
6	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>	
7	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>	
8	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>	
9	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>	

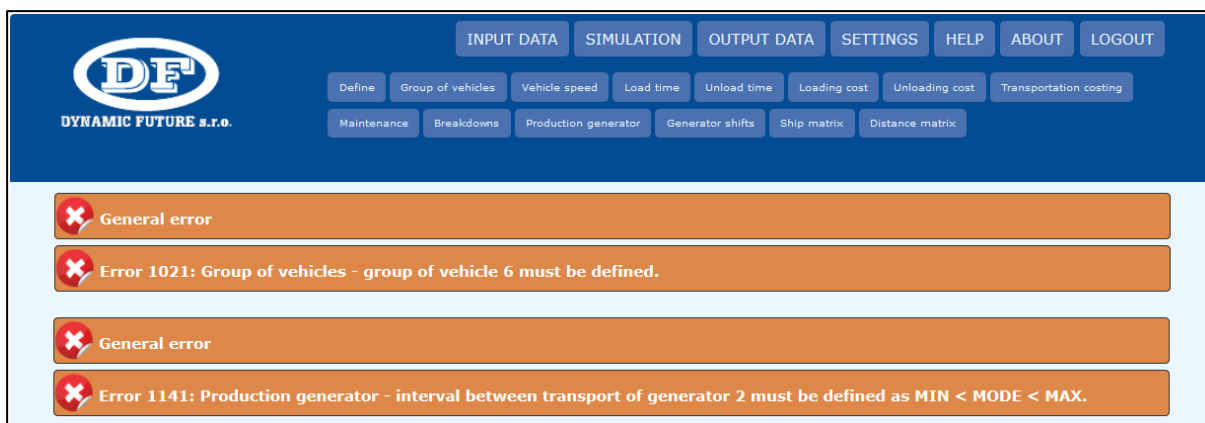
Obr. 43 – Druhá část formuláře s tabulkou pro definici doby trvání poruchy pomocí procentuálních vah

8.11.3 Údržba manipulační techniky

Z pohledu údržby je odrazem reálného stavu procesu systému výrobní a zásobovací logistiky členění údržby do tří kategorií na záložce věnované údržbě (Maintenance). Generální údržba, zpravidla s nejdelší dobou trvání, základní či běžná údržba a údržba mající povahu tankování či výměny baterií. Každý ukazatel údržby je popsán obdobně jako poruchovost, tedy pomocí intervalu mezi výskytem údržby. Pro zjednodušení byla v rámci této práce zvolena k popisu intervalu mezi údržbami pouze střední hodnota vyjadřující konstantní dobu provozu manipulačního zařízení (sloupec Interval). Nikoli tedy omezené normální rozdělení jako v případě poruchovosti. Pro údržbu obdobně jako pro poruchovost je nutno definovat dobu trvání servisního zásahu. V rámci zjednodušení jde o konstantní hodnotu, jejíž definice však nemá povahu uživatelského procentuálního rozdělení jako je tomu v rámci poruchovosti. Definuje se tedy pouze doba trvání (sloupec Duration). Odlišností od poruchovosti je odůvodněné vyplnění nákladové stránky servisního zásahu. (sloupec Cost per one). V rámci poruchovosti je totiž v reálném procesu těžko vysledovatelný údaj o nákladech na opravy poruch, kdežto servisní zásahy jsou v rámci logistického controllingu podrobně sledovány a vyhodnocovány.

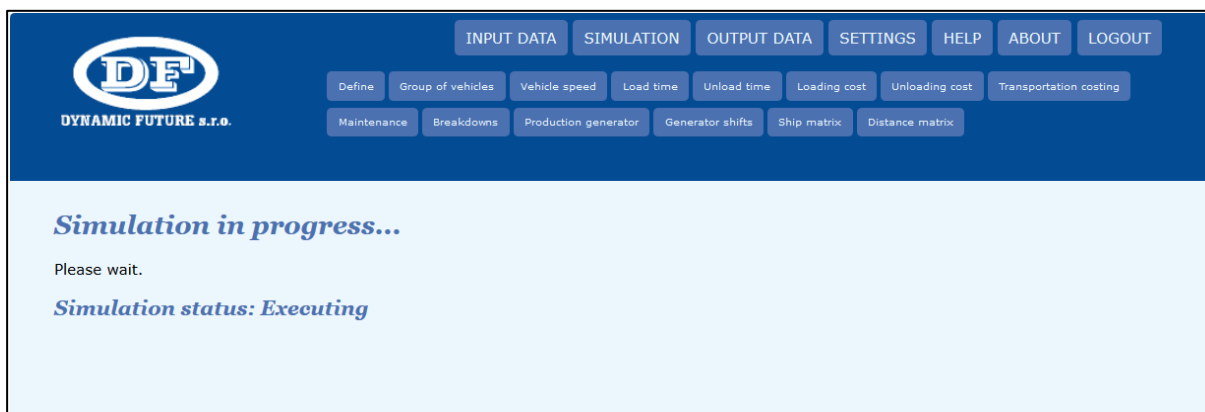
8.12 Kompilace a start simulačního experimentu

Jak již bylo v předešlých kapitolách zmíněno, mnohé z formulářů obsahují kontrolní mechanismy pro eliminaci nekonzistentního zadání, které by způsobilo nedokončení simulačního experimentu v požadované době simulace. Dalším důvodem existence těchto inteligentních kontrolních algoritmů je skutečnost, že prostřednictvím webového rozhraní je simulační prostředí uživateli vzdáleno, a tudíž mu nemusí rozumět. Je však nutné na stránce rozhraní zajistit, aby odeslaný simulační experiment nevykazoval nekonzistentní zadání a bylo možné po úspěšné kompilaci vždy dosáhnout výsledků simulačního experimentu. Kompilační algoritmy mohou nalézt v uživatelské definici chyby a ty uživateli vypíší a neumožní mu tak start simulace. Popis chyby také obsahuje lokaci zjištěného problému a v omezené míře i odůvodnění nekonzistence. Náhled výpisu chybových hlášení je uveden jako obrázek č. 44. Pro názornost bylo nasimulováno nepřirazení manipulační techniky s indexem 6 do skupiny a nelogicky zadané parametry intervalu mezi generováním požadavků na přepravu u zdroje 2.



Obr. 44 – Náhled výpisu chybových hlášení včetně specifikace nekonzistentní položky či hodnot

Jakmile je kompilace provedena korektně, je simulační experiment automaticky zařazen k simulaci. Webové rozhraní v současnosti funguje cloudovým způsobem což znamená, že vygeneruje obsah simulačního experimentu v podobě textových souborů a ty odešle k provedení experimentu do simulačního modelu na vzdáleném serveru. V rámci této práce jsou pro názornost a možnost lokální simulace všechny textové soubory, a to včetně použitého simulačního modelu k dispozici v příloze. Je však nutno připomenout, že simulační model je vytvořen v době tvorby aktuální verzi simulačního programu Witness, tedy verzi HORIZON 21, build 2333. Simulační model není možno otevřít v předchozí verzi programu, není tedy podporována zpětná kompatibilita. Ukázka simulačního modelu je přiložena jako videoukázka v příloze. Stavová hláška po korektním začátku simulace vypadá následovně jak ukazuje obrázek č. 45.

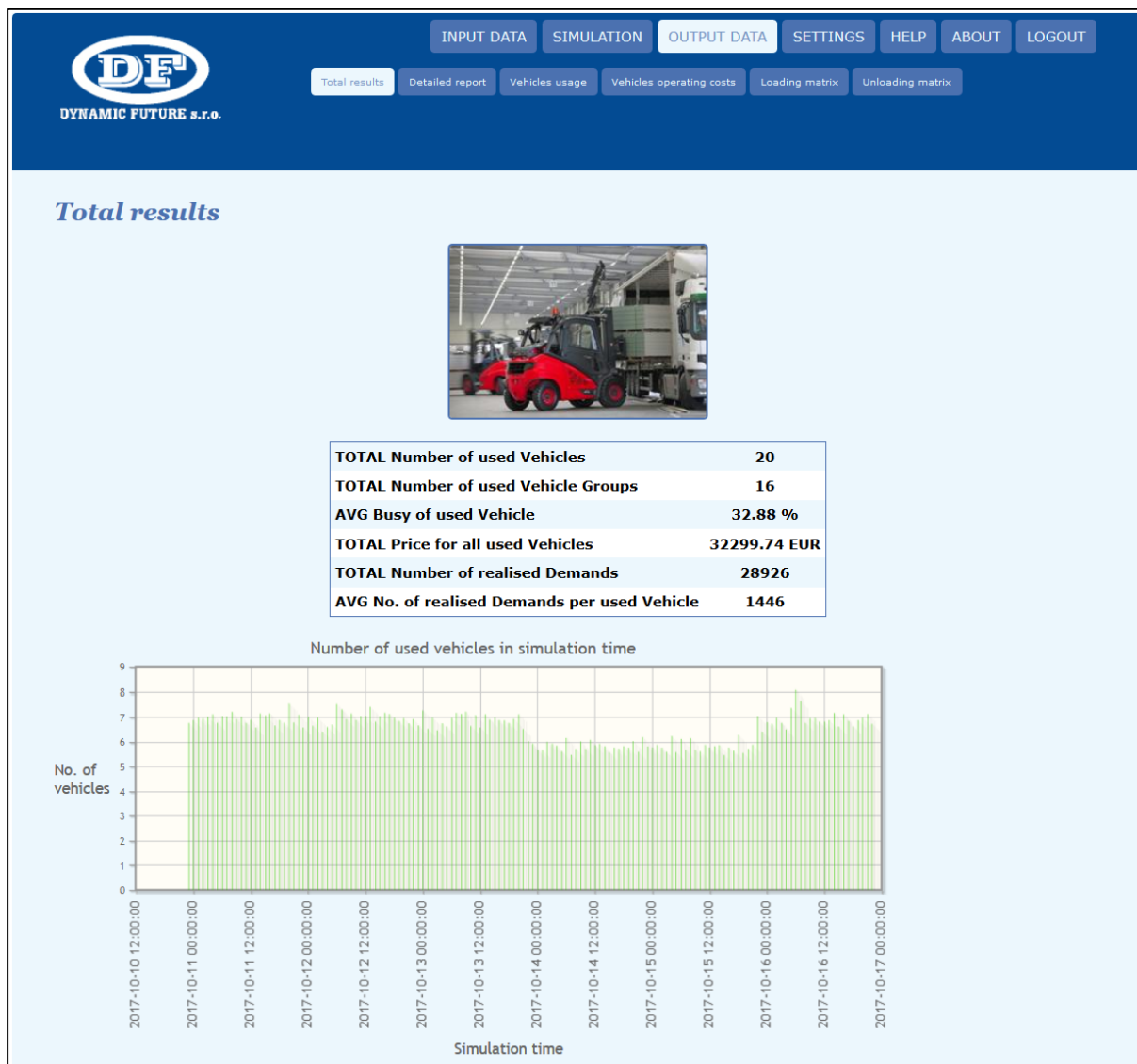


Obr. 45 – Informace uživateli, dojde-li ke korektnímu startu simulačního experimentu

Po úspěšném ukončení simulačního experimentu se automaticky otevře základní formulář se souhrnnými výsledky simulačního experimentu. Tento je také dostupný z karty výstupních dat (OUTPUT DATA) a záložky celkové výsledky (Total results). Zde je nutno ještě v návaznosti na metodu práce uvést, že za určitých okolností vzhledem k nedokonalosti tohoto stále ještě vývojového řešení je možné, že nedojde k dokončení simulačního experimentu i přes to, že došlo k jeho korektnímu startu a kompilace proběhla úspěšně. Důvodem může být komunikační problém mezi simulačním serverem a serverem odesílajícím parametry simulačního experimentu anebo nějaká doposud neošetřená nekonzistence. V takovém případě je doporučeno informovat o této situaci autora práce či provozovatele webového rozhraní, kterým je v době odevzdání práce také autor práce.

8.13 Souhrnné statistiky simulačního experimentu

Po úspěšném otevření souhrnných statistik simulačního experimentu přichází čas na to, prostudovat dopady navrženého či verifikovaného simulovaného systému výrobní a zásobovací logistiky. Přehled charakteristik, které má uživatel k dispozici je nejlépe vysvětlit na obrázku č.46, které zobrazuje náhled souhrnných statistik testovacího experimentu.



Obr. 46 – Souhrnné statistiky provedeného experimentu

Základními souhrnnými ukazateli provedeného simulačního experimentu jsou:

- Celkový počet využitých manipulačních zařízení (TOTAL Number of used Vehicles)

Celkovým počtem manipulačních zařízení použitých v simulačním experimentu se rozumí suma všech elementárních manipulačních zařízení, které byly alespoň jednou v simulaci použity. Konkrétní hodnoty jejich využití lze vyčíst z detailních statistik, nicméně už zde je možné vyhodnotit například stav, kdy je definovaný počet manipulačních zařízení vyšší než ten, jež byl skutečně použit.

- Celkový počet využitých skupin manipulačních zařízení (TOTAL Number of used Vehicle Groups)

Celkovým počtem použitých skupin manipulační techniky se rozumí suma všech skupin, jejíž představitelé byly v simulaci alespoň jednou použiti. Konkrétní hodnoty podílu využití jednotlivých skupin lze vyčíst z detailních statistik, nicméně už zde je možné vyhodnotit například stav, kdy je definovaný počet skupin manipulačních zařízení vyšší než ten, jež byl skutečně použit.

- Průměrný čas vytížení použitých manipulačních zařízení (AVG Busy of used Vehicles)

Průměrným čas vytížení z hodnot všech alespoň jednou použitých manipulačních zařízení vrací ukazatel, kterým lze vhodně porovnávat jednotlivé simulované systémy mezi sebou. Je také přímým ukazatelem efektivity provozovaného či navrhovaného systému.

- Celkové náklady provozu systému (TOTAL Price for all used Vehicles)

Souhrnnou bilanci utracených nákladů za simulovaný experiment vrací následující statistický údaj. Je možné jej také vhodně použít pro porovnávání simulovaných systémů mezi sebou, pakliže je nákladová stránka systému vyplněna.

- Celkový počet realizovaných požadavků na přepravu (TOTAL Number of realised Demands) a průměrný počet na jedno manipulační zařízení (AVG No. of realised Demands per used Vehicle)

V rámci těchto ukazatelů je možno vyhodnotit kolik požadavků bylo systémem zpracováno a tyto ukazatele mohou sloužit k dalšímu vzájemnému porovnávání systémů mezi sebou. Výsledky uvedené v těchto ukazatelích je možné dále statisticky upravovat s cílem získat průměrnou nákladovou stránku na jeden přepravený požadavek či průměrný provozní náklad na jeden manipulační prostředek ve službě. Zde nebudou započítány náklady na jeho pořízení.

Souhrnný formulář obsahuje také časový graf pro první týden simulace, který vykresluje sloupcově aktuální počet manipulačních zařízení v obsluze v průběhu času. Z grafu testovacího experimentu je patrné, že maximální hodnoty oscilují okolo čísla 7 až 8, což poukazuje na jistou nevyrovnanost v rozložení přepravních kapacit. Lze odhadovat, že vyváženě definovaný systém by měl kromě vyššího průměrného vytížení manipulačního zařízení vykazovat také vyšší hodnoty v tomto grafu, a to vzhledem k definovanému počtu manipulačních zařízení, které čítá dle definice experimentu 34 kusů techniky. Na souhrnné obrazovce je možné také najít koláčový graf, který není v náhledu na obrázku č. 44 a který vyjadřuje průměrný podíl času, který připadá na sledovaný stav činnosti manipulační techniky. Tento graf zohledňuje veškerou definovanou manipulační techniku, a tak je možno vidět, že míra rezervy systému v rámci testovaného experimentu je opravdu vysoká a dosahuje až závratných 81%. Je zde nutno ale říci, že část tohoto času rezervy může být dána tím, že manipulační technika nemá směnnost, a tudíž je k dispozici neustále, kdežto požadavky mohou být generovány v omezeném časovém intervalu ve dni. Je proto nutné si pro úplnou správnost odpočítat od podílu rezervy čas, který manipulační technika není dostupná, pokud existuje.

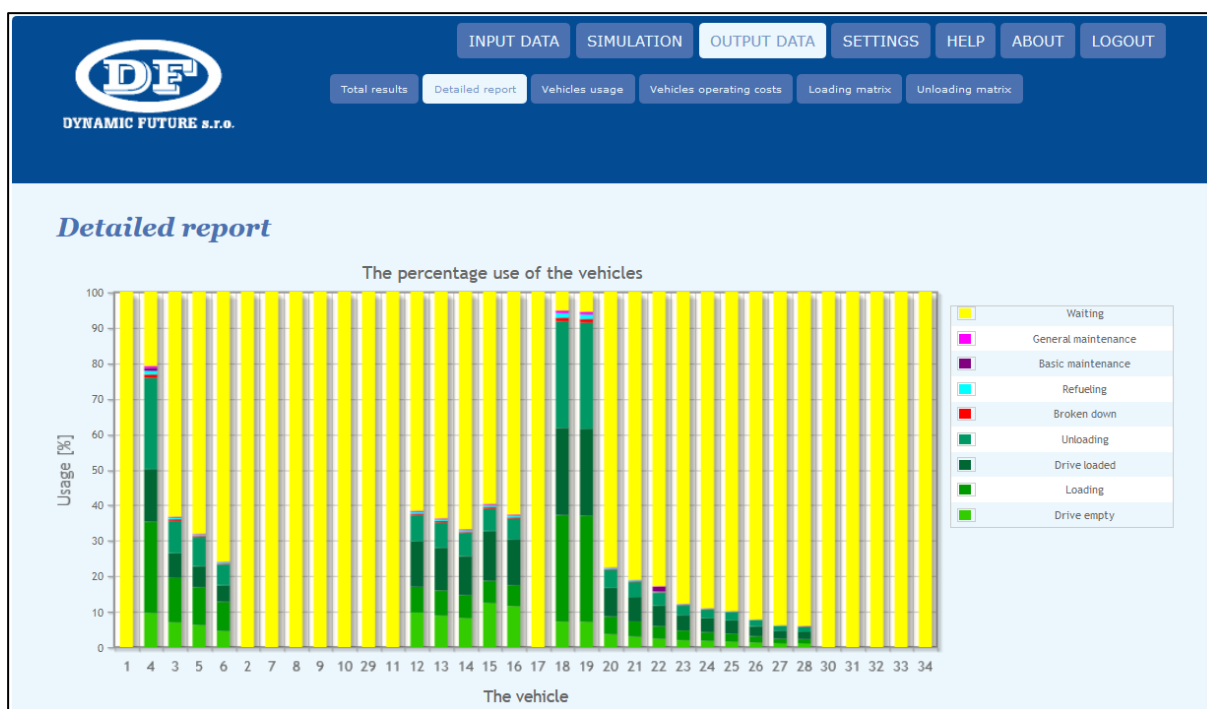
8.14 Detailní statistiky simulačního experimentu

Detailní statistiky lze úvodem rozdělit na grafické a tabulkové vyjádření. Grafická interpretace (Detailed report) je praktičtější pro vizualizaci zejména rozdílů mezi porovnávanými prvky. Tabulková forma (Vehicles usage, Vehicles operating costs, Loading matrix a Unloading matrix) poté dává přesné údaje v případě, že je uživatel potřebuje nebo s nimi chce dále pracovat. V rámci popisu detailních statistik

jsou popsány vždy jen grafické ukazatele s tím, že je vždy uveden odkaz na tabulkový zdroj zobrazovaných hodnot.

- Využití manipulačních zařízení (The percentage use of the Vehicles)
- Průměrné využití manipulačního zařízení ve skupině (The percentage use of the average vehicle in the group)

První dva grafy detailních statistik specifikují podíly strávené u jednotlivých manipulačních zařízení ve sledovaných stavech, které simulační model rozlišuje. V grafu lze nalézt podíl rezervy (Waiting), podíly strávené ve třech úrovních údržby (General maintenance, Basic maintenance a Refueling), podíl strávený v poruše (Broken down) a stavy jízdy v podobě vykládky (Unloading), jízdy ložený k vykládce (Drive loaded), nakládky (Loading) a jízdy prázdný k nakládce (Drive empty). Na ose Y jsou zobrazeny procentuální podíly stavů a osa X reprezentuje indexy použitých manipulačních zařízení. Graf je konstruován zcela totožně pro vyjádření statistik jak samostatných manipulačních zařízení, tak průměrných podílových stavů manipulačního zařízení v rámci skupin manipulačních zařízení. Náhled grafu pro jednotlivé manipulační zařízení je zobrazen jako graf č.1. Tabulkové vyjádření přesných hodnot je možné hledat v záložce využití manipulačních zařízení (Vehicle usage).

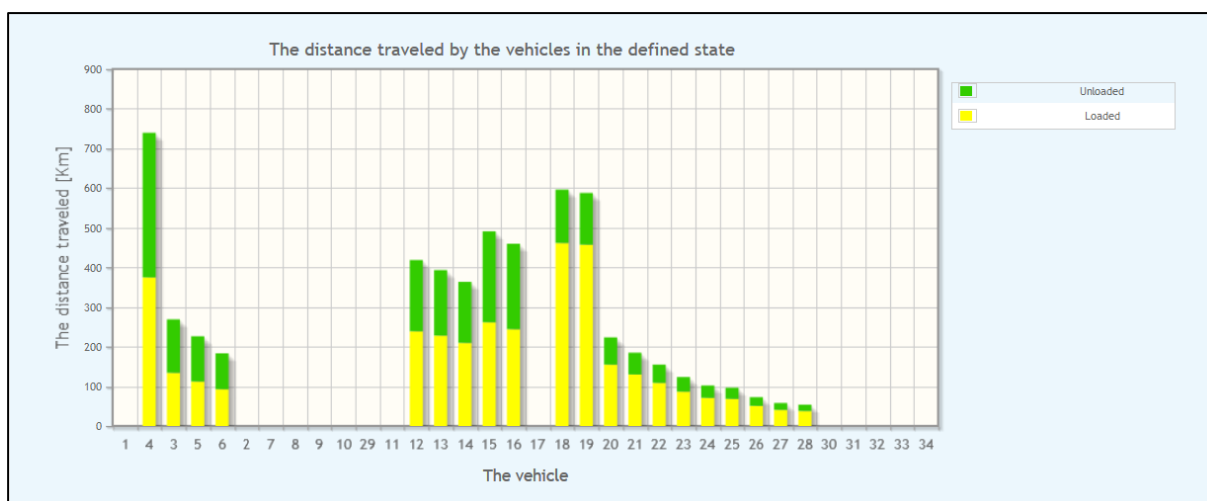


Graf 1 – Přehled vytížení jednotlivých manipulačních zařízení ve sledovaných stavech

- Ujetá vzdálenost manipulačních zařízení (The distance traveled by the vehicles)
- Celková ujetá vzdálenosti ve skupině manipulačních zařízení (Sum of the distance traveled by the groups in the defined state)

V rámci statistického vyhodnocení ujeté vzdálenosti jednotlivými manipulačními zařízeními či v sumě skupinami manipulačních zařízení dovede simulační model rozlišit pouze dva definované stavy, a sice nájezd ve stavu ložený a nájezd ve stavu prázdný. Zde je zřejmé, že cílem při navrhování systému výrobní a zásobovací logistiky by mělo být, pokud možno, snižovat podíl jízdy ve stavu prázdný, neboť se toto dá považovat za neproduktivní jízdu. Jsou však situace, kdy realizuje manipulační zařízení jeden

druh přepravy mezi dvěma stále stejnými uzly a tam není možné s tímto ukazatelem prakticky nic udělat, neboť jeho hodnota by měla být stejná jako hodnota ve stavu ložený. U skupin, kde dochází k přejezdům mezi zdroji požadavku je však možné určitého zlepšení podílu dosáhnout. Náhled grafické reprezentace je uveden jako graf č.2. Osa Y vyjadřuje celkovou ujetou vzdálenost v kilometrech a osa X poté specifikuje jednotlivá manipulační zařízení. Konstrukce grafu pro statistiku skupin je totožná. Zdroj hodnot v tabulkové podobě je poté možno nalézt na záložce provozních nákladů manipulační techniky (Vehicles operating costs).

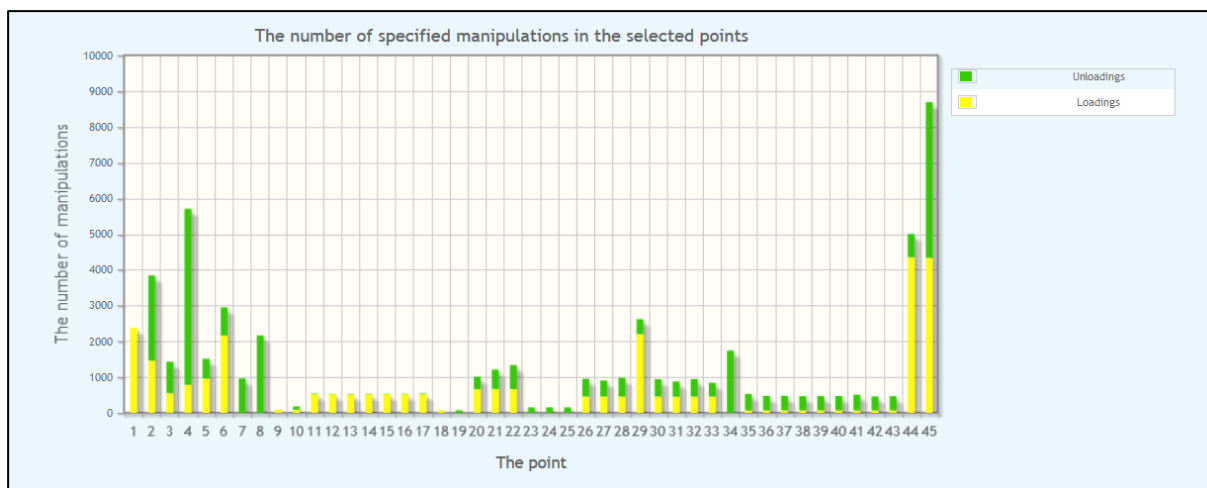


Graf 2 – Přehled ujeté vzdálenosti jednotlivými manipulačními zařízeními ve sledovaných stavech

U manipulačních zařízení, které vykazují nulovou hodnotu nájezdu je na zvážení jejich rentabilita používání. Tento ukazatel je velice důležitý jak při verifikaci existujícího systému, tak při návrhu ještě neexistujícího systému.

- Počet manipulací v jednotlivých bodech (The number of specified manipulations in the selected points)

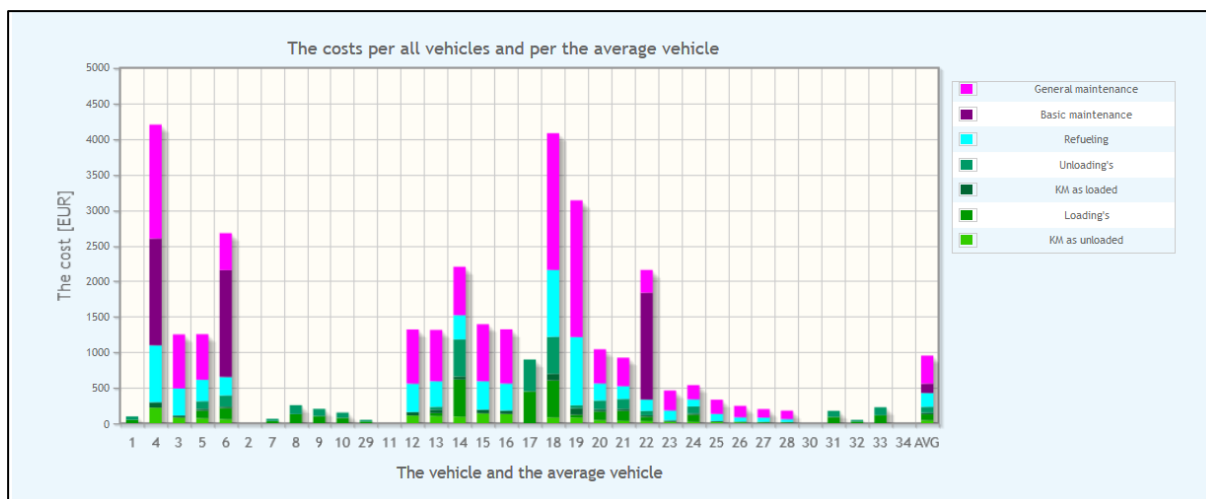
Vyhodnocení zatížení jednotlivých bodů síťového grafu má několik synergických efektů pro posouzení existujícího i navrhovaného systému. Podle počtu vykonaných nakládek či vykládek v daném bodě, které zobrazuje graf č.3, je možné získat podezření, zda je dané místo vůbec kapacitně či prostorově takovou zátěží zvládnout. U vysokých hodnot (nad 1000) za simulované období bez náběhové periody je toto silně doporučeno, neboť v reálném systému se setkáváme s čekáním na realizovanou přepravu čili s vytvářením zásoby a tento ukazatel defacto poukazuje na nutnost jejího vzniku v místě odeslání. V souvislosti se zmíněným čekáním na realizaci přepravy zejména u zahlcených skupin je vhodné vyhodnotit také poslední graf na záložce detailních výsledků (Detailed report). Tabulkové vyjádření hodnot počtu nakládek a vykládek v detailu na manipulační zařízení je uvedeno v záložkách nakládková matice (Loading matrix) a vykládková matice (Unloading matrix). V zobrazeném grafu vyjadřuje osa Y celkový počet provedených operací v bodech, které jsou specifikovány na ose X. Graf zobrazuje pouze body, u nichž byla realizována alespoň jedna operace.



Graf 3 – Přehled počtu nakládek a vykládek v jednotlivých bodech síťového grafu

- Specifikace provozních nákladů manipulačních zařízení včetně průměrného manipulačního zařízení (The costs per all vehicles and per the average vehicle)
- Specifikace provozních nákladů skupin manipulačních zařízení včetně průměrné skupiny manipulačních zařízení (Sum of the costs per all groups and per the average group)

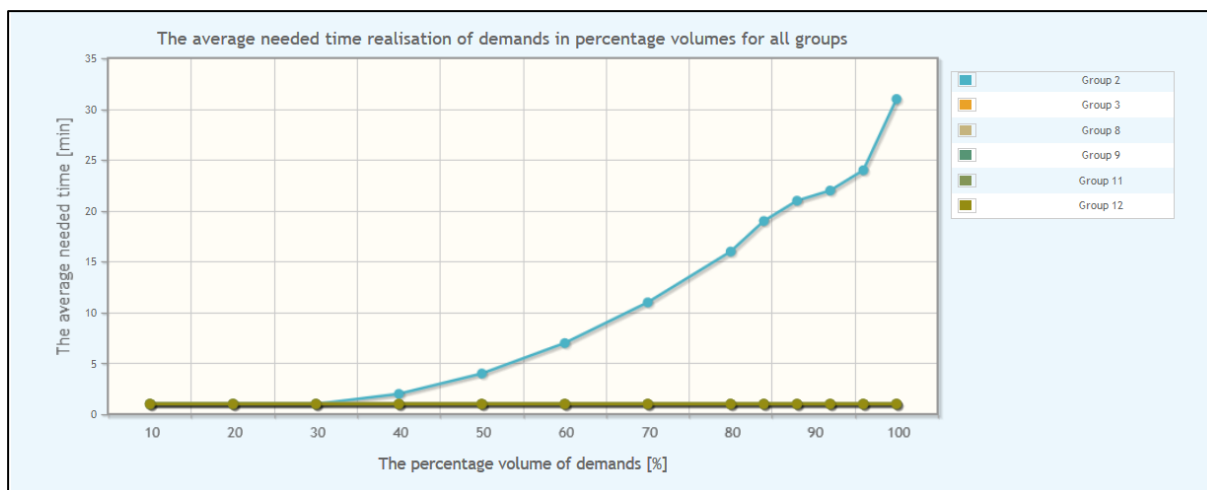
Dalším velice důležitým statistickým ukazatelem je detailní bilance nákladů, které byly vynaloženy na provoz jednotlivých manipulačních zařízení či jednotlivých skupin manipulačních zařízení v rámci simulovaného experimentu. Tento statistický ukazatel je navíc doplněn o vyjádření nákladů na průměrné manipulační zařízení a průměrnou skupinu manipulačních zařízení pro možnost srovnání. Simulační model rozlišuje několik kategorií vynaložených nákladů přesně podle způsobu jejich definice. Jedná se o náklady na tři kategorie údržby (General maintenance, Basic maintenance a Refueling), dále pak všechny realizované vykládky (Unloading's), ujetou vzdálenost ve stavu ložený (KM as loaded), všechny realizované nakládky (Loading's) a také veškerou ujetou vzdálenost ve stavu prázdný (KM as unloaded). Na ose Y jsou zobrazeny celkové náklady v definovaných jednotkách měny EUR a na ose X poté jednotlivá manipulační zařízení. Posledním sloupcem osy X je poté průměrné manipulační zařízení ze všech, které se v simulačním experimentu vyskytují. Dle simulovaného systému je možno za určitých okolností nalézt manipulační zařízení s nulovými náklady, tedy ta zařízení, která provozně nezatěžují náš systém, ale nepřinášejí žádnou přidanou hodnotu a vzhledem k prokazatelným pořizovacím nákladům jsou nerentabilní. Náhled grafického vyjádření bilance nákladů pro manipulační zařízení je uveden jako Graf č.4. Konstrukce grafu pro statistiku nákladů skupin manipulačních zařízení je totožná se zobrazeným vyjádřením pro jednotlivá manipulační zařízení. Tabulkový zdroj přesných hodnot je poté možno nalézt v záložce provozních nákladů manipulačních zařízení (Vehicles operating costs).



Graf 4 – Nákladová bilance provozu manipulačních zařízení včetně ukazatele průměrného manipulačního zařízení

- Doba odezvy na požadavek přepravy pro určitou skupinu manipulačních zařízení (The average needed time realisation of demand in percentage volumes for all groups)

Posledním grafem, který záložka detailních statistik (Detailed report) nabízí je složitější graf, který však přímo odráží míru odezvy nastaveného systému na generované požadavky na přepravu. Graf vychází ze statistiky sledování doby čekání každého vygenerovaného požadavku v simulovaném experimentu na začátek jeho nakládky, tedy na okamžik, kdy se k jeho realizaci dostane manipulační zařízení požadované skupiny. Tato doba čekání je pro každý požadavek zaznamenána společně s informací, pro jakou skupinu byl požadavek vygenerován. Po dokončení simulačního experimentu a uzavření množiny záznamů o dobách čekání pro určitou skupinu jsou záznamy v rámci každé skupiny seřazeny právě podle doby čekání seřazeny vzestupně. Nejprve tedy ty požadavky, které byly naloženy nejdříve a na konci seznamu poté ty, jež na odvoz čekaly nejdéle. Takto seřazený seznam je poté podroben analýze mezních hodnot pro prvních 10% nejrychlejších začátků nakládky z celkového počtu všech naložených požadavků danou skupinou, dále prvních 20%, prvních 30%, prvních 40%, prvních 50%, prvních 60%, prvních 70%, prvních 80%, prvních 84%, prvních 88%, prvních 92%, prvních 96% a hodnota odpovídající nejdéle trvajícím čekáním (100%). Veškeré zjištěné mezní hodnoty každé skupiny jsou poté souhrnně vyneseny do jednoho grafu k vzájemnému porovnání. Osa Y tedy zobrazuje mezní hodnotu doby čekání pro odpovídající procento nejrychlejších požadavků z celé množiny a na ose X se nachází právě ono vyjádření procentuální míry množiny. V grafu jsou viditelné pouze ty skupiny, u nichž byla v rámci simulačního experimentu provedena alespoň jedna nakládka. Náhled grafu je uveden níže jako Graf č. 5. Vzhledem k velkému počtu přepravených požadavků na přepravu tento graf nemá tabulkovou reprezentaci. Z grafu, který ukazuje výstupy testovacího experimentu je pro názornost dobře patrné, že skupina manipulačních zařízení se potýká s kapacitním problémem. Neboť lze říci, že na cca 35% požadavků bylo zareagováno vzhledem k dostupnosti skupiny téměř okamžitě, tedy do 1 minuty. U ostatních požadavků začíná doba čekání narůstat. Jednoduše lze také posoudit vzhledem k nejdelší definovaným vzdálenostem přepravních relací pro danou skupinu manipulačních zařízení, zda může být toto čekání způsobeno prokazatelným čekáním na dojezd manipulačního zařízení do místa nakládky či nikoli. Vzhledem k strmému nárůstu křivky lze téměř jistě říci, že je čekání způsobeno kapacitním nedostatkem skupiny 2 vzhledem k počtu požadavků na přepravu. Tento graf je tedy jeden z přímých ukazatelů efektivity nastavení zkoumaného systému výrobní a zásobovací logistiky.



Graf 5 – Vyjádření míry reakce jednotlivých skupin manipulačních zařízení na vygenerovaný požadavek k přepravě

8.15 Práce s výstupy simulačního experimentu

Doporučeným postupem, který vychází z vytvořené metodiky práce obsahující simulační nástroj je řádné vyhodnocení výsledků simulovaného experimentu s cílem posoudit získané statistiky ve vztahu na nastavení zkoumaného systému. V případě vysokého vytížení vybraných skupin manipulačních zařízení či jednotlivých manipulačních zařízení je doporučeno změnit rozdělení manipulačních zařízení v rámci skupin či přidat další manipulační zařízení do dotčené skupiny. Za určitých okolností, jako jsou prezentovány například v Grafu č. 5, je možné, že je kapacita skupiny 2 dostatečná, avšak její reakční doba na realizaci požadavku přepravy je nevyhovující. V takovém případě je také možno přistoupit k změně rozdělení manipulačních zařízení do skupin či ke změně počtu zařízení v jednotlivých dotčených skupinách. Postup práce také předpokládá možnou editaci klíčových vstupních údajů, jako jsou relační vzdálenosti (možnost změny trasy jízdy), či změny intenzity požadavků, které mohou mít dopady do rozhodnutí o provozování zkoumaného systému. V případě takové změny se doporučuje provést simulační experiment a srovnat dopady provedených změn právě s předchozím stavem, tedy stavem před změnou. Je však nutné uvést, že webové rozhraní ani parametrizovatelný simulační model neumožňují v současné době možnost porovnávání jednotlivých simulovaných scénářů, uživatel tedy k tomuto účelu musí využít jiný nástroj, jakým je například tabulkový editor MS Excel. Srovnání jednotlivých simulovaných experimentů (scénářů) je vhodným pokladem pro vytvoření rozhodnutí o provozování systému.

9 Závěr

Tato disertační práce se zabývá návrhem a vývojem nového konceptu řešení úloh z oblasti výrobní a zásobovací logistiky, založeném na parametrizovatelném simulačním modelu v prostředí simulačního nástroje Witness. Cílem metody práce je umožnit uživateli skrze řídicí webové rozhraní v poměrně krátkém čase ověřit fungování jím uvažovaného logistického plánu. Logistický plán je definován pomocí klíčových ukazatelů tak, aby bylo možno namodelovat většinu zainteresovaných manipulačních procesů. Tímto je jednoznačně kladen důraz na monitorování, algoritmizaci a v neposlední řadě také možnou optimalizaci provozního prostředí za účelem zvýšení efektivity a rentability řízeného procesu výrobní a zásobovací logistiky. Univerzalita vyvinutého simulačního modelu dovede odpovědět na otázky související s výkonem celého systému a jeho součástí nejčastěji v podobě definované manipulační techniky a nabízí uživateli statistiky jejího využití ve specifikovaných stavech či nákladové hodnocení provozu, čímž dává uživateli také možnost eliminovat nutnost výpočtu pesimistického odhadu zkoumané veličiny. Ve vytvořeném modelu má uživatel také možnost použití vlastního rozdělení pravděpodobnosti, pakliže zjištěná data nelze statisticky korelovat s nějakým známým rozdělením.

Pro definici klíčových vstupních údajů jsou implementovány inteligentní prvky usnadňující uživateli jejich zadávání, čímž je dosaženo zrychlení práce a průběžné zpřesňování potřeby pro zadání vstupních dat. Je známo, že se zejména ve výrobním průmyslu již dlouho věnuje značné úsilí zlepšování výrobních a logistických procesů, založených na různých koncepcích metod převážně z oblasti Lean Managementu, které reprezentují například metody VSM (Value Stream Mapping), TPM (Total Productive Maintenance), Six Sigma či časově orientovaná JIT (Just In Time). Množství těchto metod a úsilí, s jakým je jim věnována pozornost, jen potvrzuje, že je obtížné informace z podnikového hospodářství a z výrobních a logistických procesů propojit a využít. Tuto mezeru musí a také umí překlenout právě výrobní inteligence (IT SYSTEMS 2009), a to zejména svým významem z pohledu:

- Kombinování dat z administrativních procesů, jako je zpracování objednávek nebo služby a jejich konsolidace s daty z provozních procesů, jako je výroba, logistika nebo údržba
- Přizpůsobení výrobních provozů a strojů obchodní strategii, zejména kvalitou, výkonností strojů nebo lhůtami mezi zadáním a vyřízením objednávek
- Aktualizací provozních údajů v reálném čase v sekundách nebo minutách s umožněním rychlé reakce na provozní události a chyby

Výrobní inteligence je tedy krokem k řízení výroby v reálném čase (IT SYSTEMS 2009).

Předmětný simulační model není konstruován s důrazem na grafiku, neboť by docházelo k omezení na straně možných úloh k řešení. Jeho běh je tedy vhodné realizovat ve zrychleném dávkovém režimu, bez grafiky. V průběhu simulace, jejíž doba trvání v časových jednotkách je v poměru s reálným časem až několika tisíckrát rychlejší, se dokáže simulační model z pohledu odbavení požadavku na přepravu v rámci určité manipulační skupiny rozhodovat na základě místní a časové optimalizace. Tento prvek optimalizace vybírá pro zajištění obsluhy vždy časově nejbližší volný obslužný prvek. Vzhledem ke komplexnosti a kombinatorice zadávaných vstupních dat však tato funkcionality a ani vytvořený parametrizovatelný simulační model nemůžou v rozumných časových možnostech uživatele zajistit nalezení optimálního řešení či nastavení zkoumané úlohy. Za určitých okolností by bylo možné transformovat zadání v omezené variabilitě proměnných do řešení pomocí některého z heuristických algoritmů, které například simulační nástroj Witness nabízí, nicméně i zde by bylo nutno zvážit ze strany uživatele dopad robustnosti simulačního modelu v kombinaci s délkou jednoho simulačního experimentu. Délka jednoho simulačního experimentu je přímo úměrná počtu vygenerovaných

požadavků na přepravu za stanovené simulační období, složitosti vazeb mezi manipulačním zařízeními a body síťového grafu. Tento aspekt byl klíčový při rozhodnutí, zda nevyužít v práci možnosti hledat optimální či suboptimální řešení. Pro názornost lze demonstrovat, že simulační běh přiloženého testovacího příkladu trvá přibližně 3 minuty, což již při 150 kombinacích, které by připadaly v úvahu, zabere uživateli celou pracovní směnu.

Vytvořená metoda umožní uživateli rychle nalézt charakteristické parametry zkoumaného systému a na základě jejich grafického vyjádření se uživatel může dále rozhodnout pro modifikaci zadání, čímž je mu umožněno výsledné řešení vyladit do funkčního stavu, tedy optimalizovat jeho nastavení. Tento způsob postupné optimalizace navíc koresponduje se stavem výsledovatelným v praxi, kdy může mít každý podnik defacto odlišnou kritériální funkci.

Škála výstupů získaná ze simulačního modelu je transformována do podoby grafů, které jsou snáze uživateli pochopitelné a které korespondují s dnes teoreticky platnými ukazateli, při posuzování rentability zkoumaného logistického plánu. Možnost prohlížení výstup v tabelárním zpracování je však také umožněna. Webové řídicí prostředí neumožňuje uživateli v současné podobě porovnávat jednotlivé varianty nastavení zkoumaného systému mezi sebou je však i přes to významnou inovací v oblasti tvorby a vyhodnocování logistického plánu díky jednoznačnosti vstupních dat, jejich inteligentní přípravě, simulačnímu přístupu k řešení a vysoké adaptabilitě na spektrum úloh z praxe.

Obecně platí, že při práci se simulačními nástroji typu Witness se uživatel neobejde bez různé úrovně znalosti daného prostředí a také bez vlastnictví licence k takovému software. Tyto potřeby lze z pohledu uživatele přímo úměrně vyjádřit jeho časem či nutností investice. Vyvinutá metoda práce umožňuje výše zmíněné potřeby zcela odstranit díky implementovaným prvkům výrobní inteligence a také vytvořenému uživatelskému webovému řídicímu rozhraní, jež je umístěno do otevřeného cloudového prostředí. Řídicí webové rozhraní bylo autorem práce navrženo včetně všech funkcionalit a inteligentních prvků pro definici vstupních dat. Jeho vytvoření v programovacím jazyce PHP však bylo autorem pouze dozorováno a financováno, nikoli programováno.

Vytvořené řešení je dostupné z webové adresy: <http://df-happ.witness.cz/> pod uživatelským jménem: „hol595“ a heslem: „hol595“. Jako testovací příklad použití je součástí této práce záloha řešené úlohy (Testovací_experiment.zip), které obsahuje obraz zadání úlohy včetně simulačních výstupů, byla-li simulace provedena před uložením záložního souboru. Řešená úloha obsahuje 34 manipulačních zařízení, 52 zdrojů požadavků (generátorů), 17 skupin do kterých jsou manipulační zařízení přiřazena, 77 bodů síťového grafu a 6 specifikovaných směnností pro zdroje požadavků. Další parametry nastavení úlohy je vhodné prozkoumat dle popisu prostředí, jemuž je věnována kapitola 8 této práce.

Vytvořená metoda práce a nástroj v podobě parametrizovatelného simulačního modelu byl použit při řešení ověření systému zásobovací logistiky a také při nastavování pilotního systému v několika komerčních projektech ve spolupráci s významnými podniky v ČR, u nichž byla díky tomuto nástroji oproti standardnímu projektu s využitím jednorázového simulačního modelu prokázána úspora času při definici vstupních dat a simulačních experimentech až o 70%.

9.1 Přínos pro vědní obor

Jednoznačným přínosem pro vědní obor, kterým lze bez okolků logistiku nazvat, je rozšíření spektra použitých metod pro řešení komplexních úloh z oblasti verifikace a plánování systémů výrobní a zásobovací sféry. Rozšíření lze spatřovat zejména ve vytvoření metody práce s využitím parametrizovatelného simulačního modelu, jež byl vyvinut na základě podobnosti s analyticky řešitelnými úlohami a kde díky využití validovaného simulačního přístupu k dosažení výsledků bylo možno odstranit omezení, které na straně komplexnosti zadání analytické přístupy mají. Použití jednoúčelových simulačních modelů je již dnes běžnou součástí řešení i pro jednodušší úlohy, než je ta, kterou představuje tato práce. Zejména v rovině komplexnosti vstupních dat a vazeb. Využití simulačního přístupu eliminuje potřebu výpočtu pesimistického odhadu hodnoty zkoumaných veličin a umožňuje po zobrazení výsledků bodového odhadu rychlou interaktivní reakci s využitím inteligentních prvků.

9.2 Přínos pro praxi

Vytvořená metoda práce nabízí uživateli z praxe využití otevřeného nástroje umístěného do cloudového prostředí k analýze, verifikaci nastavení a postupné optimalizaci existujících či hypotetických systémů výrobní a zásobovací logistiky. Vytvořená metoda práce uživateli specifikuje klíčové ukazatele zkoumaného systému, což v prostředí výrobní a zásobovací praxe samo o sobě přináší osvětu v řešení zejména neexistujících systémů. Vytvořená metoda práce dále umožňuje rychle získat charakteristické ukazatele efektivity a rentability zkoumaného systému a nabízí také možnost postupné optimalizace dle graficky prezentovaných hodnot charakteristických ukazatelů. Při spolupráci z praxí realizovanou společností Dynamic Future s.r.o. bylo již na časovou a finanční úsporu v souvislosti s využitím vyvinuté metody práce poukázáno. Neméně významným přínosem je také umožnění využití vědeckého přístupu k řešení pro uživatele s praxe bez znalosti simulačních nástrojů a metod a také bez vlastnictví simulačních nástrojů.

9.3 Doporučení na další výzkum

Vhodnou oblastí pro další návazný výzkum a vývoj, který by vytvořenou metodu práce rozvinul je prozkoumání a vytvoření podmínek či omezení pro možnost implementovat do metody práce nástroje simulačních software, které by dokázali nalézt optimální či suboptimální řešení pro předem definované kritériální funkce. Zejména z pohledu profilování kritériálních funkcí bude zapotřebí hloubkové analýzy, ke které by však uživatelé popisované metody v rámci této práce mohli přispět.

10 Conclusions

This dissertation is focused on the design and development of a new concept of solution for tasks in the field of production and supply logistics, based on the parametrical simulation model built in the simulation tool Witness. The aim of the method of work is to allow user to verify operation in his suggested logistic plan in a relatively short time through the control web interface. The logistics plan is defined using key indicators by a method, which enables modelling most of the involved manipulation processes. This point emphasis monitoring, algorithmization and, last but not least, the possible optimization of the operating environment in order to increase the efficiency and profitability of the managed production and supply logistics process. The universality of the developed simulation model allows to answer questions about the performance of the whole system and its components mostly in the form of defined manipulation equipment. Furthermore, it offers the user statistics of manipulation equipment in specified states or operation cost evaluation, which gives the user the possibility to eliminate necessity of calculating the pessimistic estimation of examined quantity. If the detected data can't be statistically correlated with any known division, the user also has the possibility to use his own distribution of probability in the created model.

In order to define the key input data, intelligent elements are implemented to facilitate the user's input, which allow him to accelerate the work and continually upgrade the request for entering input data.

It is well known that especially for production industry there is invested a big portion of energy to improve production and logistics processes, which are conceived by the Lean management methods like VSM (Value Stream Mapping), TPM (Total Productive Maintenance), Six Sigma or time oriented JIT (Just In Time). The number of those methods and dedicated effort to them confirm that it is very difficult to interconnect and use the information from company economic and production and logistics processes. This gap has to be and is really bridged by Business Intelligence (IT SYSTEMS 2009) regarding especially:

- Data combination from administrative processes like orders providing or service and its consolidation with data from production operation, logistics or maintenance
- Adaptation of production plant or facilities to business strategy especially by quality, machine performance or duration between purchase order and delivery
- Updating of operational information in real time at seconds or minutes with possible quick reaction to issues or errors

Business Intelligence is therefore the step forward to production control in real time (IT SYSTEMS 2009).

The created simulation model is not designed with an emphasis on graphics because this would create a limitation on the side of possible tasks solving. Its running is therefore suitable in an accelerated batch mode, and without graphics. During the simulation (the duration of simulation in real time units is up to several thousand times faster) the simulation model can make decision on the basis of local and time optimization for realization of transport request within a particular handling group. This optimization element always selects the handling equipment for realization of the transport request which can be first available. However, due to the complexity and combinatorial input data, neither this functionality nor the parametrical simulation model can provide user with finding the optimal solution or setting of the task under consideration in reasonable time. Under certain circumstances it would be possible to transform assignment with the limited variability of variables into solutions using one of

the heuristic algorithms, which exist at Witness simulation tool, but it would also be necessary to consider the impact of the simulation model robustness in combination with the length of one simulation experiment. The duration of one simulation experiment is directly proportional by the number of generated transport requests for a defined simulation period, the complexity of the relation between the handling devices and the points of network graph. This aspect was crucial in making decision about using the option to look for an optimal or suboptimal solution. For simplicity it can be demonstrated that the simulation running of the attached test example takes about 3 minutes, which with the 150 combinations by variability of variables that would be considered, will take the whole work shift of the user per day.

The created method allows the user to quickly find the characteristic parameters of the examined system and based on their graphical expression the user can further make decision to modify the input data of examined task enabling the final solution to be tuned into the functional state and optimizing its settings. Moreover, this method of gradual optimization corresponds to a traceable situation in practice where each company or solver may have a differently critical function.

The range of outputs received from the simulation model is transformed into charts, which are easier to understand for user and which are corresponding with today's theoretically valid indicators when assessing the rentability of the examined logistic plan. The possibility to view the output in a table form is prepared, too. The web control interface does not allow the user to compare the individual variants of the examined system settings to each other in a current form, however it is still a significant innovation in the field of creation and evaluation of the logistic plan based on the unique input data, their intelligent preparation, simulation approach to a solution and high adaptability to the spectrum of task from practice.

In general, it can be stated when working with simulation tools, for example a Witness, the user can't be working with such tool without different levels of knowledge of that environment and without ownership of a license for that software. These requirements can be directly proportional to the user's working time or needs for investment. The developed method of work allows eliminating the above-mentioned requirements thanks to the implemented intelligent elements, as well as the user defined web control interface which is placed in an open cloud environment. The control web interface has been designed including all the functionalities and intelligent elements for the definition of input data. It's creation in the PHP programming language has been supervised and sponsored.

The created solution is available from the following web URL: <http://df-happ.witness.cz/> under the username: "hol595" and the password: "hol595". As a test example for using the solution the backup of the task (Test_experiment.zip) is attached, which includes the task definition together with simulation outputs, just in case the simulation is performed before saving the backup file. The solved task includes 34 handling equipment, 52 sources of transport requirements (generators), 17 groups into which all the handling equipment are assigned, 77 point of network graph and 6 specified shifts for sources of transport requirements. Other parameters of the task setting should be explored according to the description of the environment which is placed in a Chapter 8 of this thesis.

The created method of work and the tool in the form of a parametrical simulation model were used during problem solution for verification of the supply logistics system as well as to set up the pilot system in several commercial projects in cooperation with major enterprises in the Czech Republic. a Time saving up to 70% was demonstrated, thanks to this tool, in comparison with the standard project which use the single-purpose simulation model when the input data are defined and simulation experiments are implemented.

10.1 Contribution for scientific discipline

The clear contribution to the science field of logistics, is the extension of the used spectrum of methods to solve complex tasks from the area of verification and planning of production and supply systems. Extensions can be seen especially in the creation of a universal method of work using a parametrical simulation model which was developed based on the similarity with analytically solved tasks. Thanks to the use of the validated simulation approach to achieve the results, it was possible to remove the limitations which exists in complexity for assignment of analytical tasks. The use of single-purpose simulation models is today a common part of the solution for simpler tasks than it is the one presented in this thesis, particularly in terms of complexity of input data and its relations. The use of the simulation approach eliminates the need to calculate the pessimistic estimation of value of the examined variables and allows a quick and interactive reaction after receiving the results of the point estimate by using intelligent elements.

10.2 Contribution for practice

The created method of work offers the user the opportunity to use an open tool placed in the cloud environment to analyze, verify the settings and gradually optimize the existing or hypothetical production and supply logistics systems. The created method of work specifies for the user the key indicators of the examined system what in itself provides education in solutions of non-existent systems in that field. The created method of work also enables to quickly obtain the characteristic indicators of efficiency and rentability of the examined system and also offers the possibility of gradual optimization according to graphically presented values of characteristic indicators (KPI's). In collaboration with practice realized by Dynamic Future s.r.o. the timewise and financial savings in connection with the usage of the developed method of work have been pointed out. No less significant benefit is also enabling scientific approach to solutions for users from practice without the knowledge of simulation tools and methods and also without the ownership of simulation tools.

10.3 Recommendation for further research

A suitable area for further follow-up research and development, which can develop the created method of work, is to explore and create conditions or constraints for the possibility of implementing the simulation software tools into the method of work, which could find an optimal or suboptimal solution for predefined criterial functions. Especially from the insight of profiling of the criterial functions, the depth analysis will be required. However, the users of this created method of work described in this thesis may be able to contribute to it as well.

11 Použitá literatura

AL-AOMAR, R., E. J. WILLIAMS a O. M. ÜLGEN. *Process Simulation Using Witness*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2015. 565 s. ISBN 978-0-470-37169-5.

API. Academy of Productivity and Innovations – Průmyslové inženýrství. *E-api.cz* [online prezentace]. 2012 [cit. 2012-11-23]. Dostupné z: <http://www.e-api.cz/page/101/>

BABIUCH, Marek a Lenka LANDRYOVÁ. *Data Model in Industrial Automation Using New Technologies*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Řada strojní. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008, 54(2), s. 178-182. ISSN 1210-0471.

BANGSOW, Steffen. *Manufacturing simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage of programming with examples and solutions*. Germany, 2010. 293 s. ISBN- 978-3-642-05073-2.

BELLMAN, Richard a DREYFUS, Stuart E. *Mathematical Tables and Other Aids to Computation. Functional Approximations and Dynamic Programming*. United States of America: American Mathematical Society, 1959. 251 s.

BOHÁCS, G., B. KULCSÁR a D. GÁSPÁR. Container Terminal Modelling in Simul8 Environment. In: *Acta Technica Jaurinensis: Transportation Science and Logistics* [online]. Hungary: Szechenyi Istvan University, 2013 [cit.2017-09-18]. Dostupné z: <https://acta.sze.hu/index.php/acta/article/view/233/>

BOLCH, Gunter, Stefan GREINER, Hermann DE MEER a Kishor S. TRIVEDI. *Queueing Networks and Markov Chains. Modeling and Performance Evaluation with Computer Science Applications*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2006. 878 s. ISBN 978-0-471-56525-3.

BRIŠ, Radim. Statistické metody v inženýrské praxi – vyukový modul. *Homel.vsb.cz* [online prezentace]. 2010 [cit. 2016-09-11]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~bri10/>

CRESWELL, John W. *Research design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods approaches. Second edition*. Washington D.C.: SAGE, 2009. 260 s. ISBN 978-0-761-92442-5.

CHAN, Bo a Chung-Yee LEE. Logistics scheduling with batching and transportation. *Inflow: European Journal of Operational Research* [online]. 2008, č. 189. s. 871-876. [cit.2010-12-11]. ISSN: 0377-2217. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221707006625>

DANĚK, Jan a Vladislav KŘIVDA. *Základy dopravy*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2003. 192 s. ISBN 80-248-0410-7.

DYNAMICFUTURE. *Příručka BASIC MOST*. (Interní literatura Dynamic Future s.r.o.) ©2010.

DYNAMICFUTURE. Dynamická simulace. *Dynfut.cz* [online prezentace]. 2016 [cit. 2016-06-08]. Dostupné z: <http://dynfut.cz/dynamicka-simulace/>

DIESTEL, Reinhard. *Graph Theory*. Springer, 2000. 447 s. ISBN 0-387-98976-5.

DUDEK, Martin. *Box-Plot neboli Krabicový graf*. Kvalita-jednoduse.cz [online prezentace]. 2017 [cit. 2017-10-10]. Dostupné z: <http://kvalita-jednoduse.cz/box-plot/>

FERJENČÍK, Ján. *Úvod do metodologie psychologického výzkumu: jak zkoumat lidskou duši*. 2. Vydání. Praha: Portál, 2010, 255 s. ISBN 978-807-3678-159.

FOCUS AGENCY s.r.o.. Metody sběru dat v kvantitativním výzkumu. *M-journal.cz* [online prezentace]. 2009 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z: http://www.m-journal.cz/cs/marketingovy-vyzkum/metody-sberu-dat-v-quantitativnim-vyzkumu_s390x5140.html

GARRIDO, José. Object oriented simulation: A modeling and programming perspective. United States of America: Springer, 2009. 445 s. ISBN 978-1-4419-0515-4.

GOLUMBIC, Martin Charles. *Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs - Annals of Discrete Mathematics*. 2. vydání. United Kingdom: Elsevier, 2004. 340 s. ISBN 978-0-080-52696-6.

GROS, Ivan. *Logistika*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1996. 228 s. ISBN 80-7080-262-6.

HENDL, Jan. *Kvalitativní výzkum: základní metody a aplikace*. Praha: Portál, 2005. 408 s. ISBN 80-7367-040-2.

HOLÍK, Jiří. *Komparace výsledků simulace vybraných systémů hromadné obsluhy v simulačním programu WITNESS*. Ostrava, 2009. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy. 63 s.

HOLÍK, Jiří a Lenka LANDRYOVÁ. Universal simulation model in Witness software for verification and following optimization of the handling equipment In: Emmanouilidis, Ch., M. Taisch a D. Kiritsis. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems, APMS 2012: Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services*. Rhodes, Greece, 24-26. září 2012, s. 445-451. ISBN 978-3-642-40351-4, ISSN 1868-4238.

HLINĚNÝ, Petr. *Teorie Grafů (FI: MA010)*. Sylabus. Brno: Masarykova univerzita Brno, 2008. 120 s.

IPA SLOVAKIA. Produktivita a meranie práce. In: *Přednáška: Produktivita a meranie práce*. Žilina, Žilinská univerzita, 3. října 2013. 8:00.

IPA SLOVAKIA. Analýza a meranie práce. *ipaslovakia.sk* [online prezentace]. 2017 [cit. 2017-06-13]. Dostupné z: <https://www.ipaslovakia.sk/sk/ipa-slovnik/analiza-a-meranie-prace>

IT SYSTEMS.COM. Business intelligence ve výrobních podnicích. *Systemonline.com* [online]. 2009 [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/business-intelligence/business-intelligence-ve-vyrobnich-podnicich.htm>

KISK FF MU. Základní techniky sběru dat. *Vyzkumy.knihovna.cz* [online prezentace]. 2012 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z: <http://vyzkumy.knihovna.cz/ucebnice/metody-sberu-dat>

KLIMENT, M., P. TREBUŇA a M. STRAKA. *Tecnomatix Plant Simulation, Its Features and Its Integration into Business Processes in Logistics Systems* [online prezentace]. 2014 [cit. 2017-09-18]. Dostupné z: <http://pubs.sciepub.com/ajme/2/7/24/index.html>

KLUVÁNEK, Pavol a František BRANDALÍK. *Operační analýza*. Bratislava: Alfa, 1982.

KLVAŇA, Jaroslav. *Modelování 20: Operační výzkum 2*. 3. Vydání. Praha: ČVUT, 2005. 246 s. ISBN 80-010-3263-9.

KOŘENÁŘ, Václav. *Stochastické procesy*. 2. přepracované vydání: Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 2010. 228 s. ISBN 978-80-245-1646-2.

KONEČNÝ, Miloslav. *Logistika v systému řízení podniku*. Vysoká škola báňská-Technická univerzita, Strojní fakulta, 1999. 149 s. ISBN 80-7078-667-1.

- LANNER GROUP LTD. *WITNESS Getting Started Materials*. Henley-in-Arden: Lanner Group Ltd., 2000.
- LANNER GROUP LTD. *Training Course Exercises*. Henley-in-Arden: Lanner Group Ltd., 2001.
- LANNER GROUP LTD. Witness 14. *Lanner.com* [online prezentace]. 2013 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://www.lanner.com/en/media/witness/witness14.cfm>
- LANNER GROUP LTD. Witness Horizon Full Version Release 21.00b (Build 2333) [Software]. [Přístup 3. ledna 2018]. Veřejně nedostupné.
- LUKÁŠ, Luděk. *Pravděpodobnostní modely v managementu: Markovovy řetězce a systémy hromadné obsluhy*. 1. Vydání. Praha: Academia, 2009. 135 s. ISBN 978-80-200-1704-8.
- MANAGEMENTMANIA.COM. Co - když analýza (What-if Analysis). *ManagementMania.com* [online]. ©2011-2013 [cit. 2013-06-06]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/co-kdyz-analyza-what-if-analysis>
- MAŠÍN, Ivan a Milan VYTLAČIL. *Nové cesty k vyšší produktivitě*. 1. Vydání. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2000. 311 s. ISBN 80-902235-6-7.
- MAYNARD. Dr. H.B. Maynard Authobiography. *Hbmaynard.com* [online prezentace]. 2013 [cit. 2013-03-04]. Dostupné z: <http://www.hbmaynard.com/Exchange/vol9-4.pdf>
- MICROSOFT CORPORATION. Project Professional. *Products.office.com* [online prezentace]. 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://products.office.com/cs-cz/project/project-professional-desktop-software>
- ORACLE CORPORATION. Plan and Execute the Right Projects - Easily and Affordably. *Oracle.com* [online prezentace]. 2014 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.oracle.com/us/primavera-ppm-brochure-070808.pdf>
- PERNICA, Petr. *Logistický management*. Praha: Radix, spol. s.r.o., 2001. 661 s. ISBN 80-86031-13-6.
- PERNICA, Petr. *Logistika pro 21. století: Supply Chain Management*. Praha: Radix, spol. s.r.o., 2005. 1700 s. ISBN 80-86031-59-4.
- REBIERE, Oliviere a Cristina REBIERE. *Mastering the Gantt Chart: Understand and Use the "Gantt Project" Open Source Software Efficiently!*. 2017. 150 s. ISBN: 661-0-000-00854-4.
- REESE, George. *Cloud Application Architectures: Building Applications and Infrastructure in the Cloud, Theory in Practice*. United States of America: O'Reilly Media, Inc., 2009. 185 s. ISBN 978-0-596-15636-7.
- RUNCIMAN, N., N. VAGENAS a T. CORKAL. Simulation of haulage truck loading techniques in an underground mine using WITNESS. *Inflow: Sage journal* [online]. 1997, č. 68 [cit.2010-08-06]. ISSN 0037-5497. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/242925453_Simulation_of_Haulage_Truck_Loading_Techniques_in_an_Underground_Mine_Using_WITNESS
- SCHOLTEN, Bianca. Integrating ISA-88 and ISA-95. *Scribd.com* [online prezentace]. 2007 [cit. 2017-09-11]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/312792208/Integrating-ISA-88-and-ISA-95>
- SCHULTE, Christof. *Logistika*. 1. vydání. Praha: Victoria Publishing, 1994. 301 s. ISBN 80-85605-87-2.
- SEMANCO, Pavol. a David MARTON. Simulation Tools Evaluation using Theoretical Manufacturing Model. In: *Acta Polytechnica Hungarica – Journal of Applied Sciences* [online]. 2013, č.

10 [cit.2010-08-06]. ISSN 1785-8860. Dostupné z: https://www.uni-obuda.hu/journal/Semanco_Marton_40.pdf

SIEMENS PLM SOFTWARE Inc. *Plant Simulation Basic Students Guide*. USA, 2009. Publication Number: MTXP100-S-0901.

SIEMENS PLM SOFTWARE Inc. Plant Simulation. *Plm.automation.siemens.com* [online]. ©2017 [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml

Simulation With Arena Part 1 - Introduction. In: *Youtube.com* [online]. 4.5.2014 [cit. 2017-06-12]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=X_s17-uqp2Q. Kanál uživatele Taylor Sisson.

SIMUL8 Assembly Line Demonstration. In: *Youtube.com* [online]. 5.4.2013 [cit. 2017-06-12]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=IAje0igiuSs>. Kanál uživatele Cheer Chain.

SIXTA, Josef a Václav MACÁT. *Logistika – teorie a praxe*. 1. vydání Brno: Computer Press a.s., 2005. 408 s. ISBN 80-251-0573-3.

SYSCOM Software. Cloudová řešení pro soukromé uživatele. Díl 1. Kam bezpečně uložit data. *Ssw.cz* [online prezentace]. 2015 [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: <http://www.ssw.cz/tiskove-zpravy/cloudova-reseni-pro-soukrome-uzivatele-13>

S&T CZ s.r.o. Cloudová řešení. *Sntcz.cz* [online prezentace]. 2015 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.sntcz.cz/Solutions/cloud/83757.cz.php>

ÚSTAV LOGISTIKY A MANAGEMENTU DOPRAVY, FAKULTA DOPRAVNÍ ČVUT V PRAZE ZA ODBORNÉHO PŘÍSPĚNÍ SPOLEČENSTVÍ AUTODOPRAVCŮ ČECH A MORAVY (SAČM). *Kalkulace nákladů silniční nákladní a osobní dopravy*. Metodika. Praha, České vysoké učení technické, Fakulta dopravní, 2014. 20 s.

VIEIRA, Guilherme Ernani. Ideas for modeling and simulation of supply chains with arena. In: INGALLS, R. G., M. D. Rossetti a J. S. Smith, eds. *Proceedings of the 2004 winter simulation conference*. Washington D.C., 2004, s. 1418-1428. ISBN 0-7803-8786-4.

WIKIPEDIA. Cloud computing. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation. ©2015 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing

WILLIAMSON, D. F., R. A. PARKER a J. S. KENDRICK. The Box Plot: A Simple Visual Method to Interpret Data. *Inflow: Annals of Internal Medicine* [online]. 1989, č. 11 [cit.2010-08-03]. ISSN 0003-4819. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Juliette_Kendrick/publication/20437659_The_box_plot_A_simple_visual_method_to_interpret_data/links/09e4150ad19424089b000000/The-box-plot-A-simple-visual-method-to-interpret-data.pdf

ZUKERMAN, Moshe. *Introduction to Queueing Theory and Stochastic Teletraffic Models* [online]. China: City University of Hong Kong. ©2010 [cit. 2015-09-07]. Dostupné z: <http://www.ee.cityu.edu.hk/~zukerman/>

12 Vlastní publikace k tématu disertační práce

HOLÍK, Jiří a Lenka LANDRYOVÁ. Universal simulation model in Witness software for verification and following optimization of the handling equipment In: Emmanouilidis, Ch., M. Taisch a D. Kiritsis. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems, APMS 2012: Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services*. Rhodes, Greece, 24-26. září 2012, s. 445-451. ISBN 978-3-642-40351-4, ISSN 1868-4238.

HOLÍK, Jiří a Lenka LANDRYOVÁ. Control of a general distribution system. In: *Proceedings of the 2014 15th International Carpathian Control Conference, ICC 2014*. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2014. s. 153-156. ISBN 978-1-4799-3528-4.

HOLÍK, J., L. LANDRYOVÁ a D. TEICHMANN. Decision Support by Dynamic Simulation Method. In: *Proceedings of the 2015 16th International Carpathian Control Conference, ICC 2015*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015. s. 165 - 169. ISBN 978-1-4799-7370-5.

HOLÍK, J., M. DORDA, D. TEICHMANN a V. GRÁF. Universal simulation model for unsignalized intersection capacity analysis. In: *Proceedings of the 2016 17th International Carpathian Control Conference, ICC 2016*. High Tatras, Tatranská Lomnica, Grandhotel Praha, Slovak Republic, May 29 - June 1, 2016. Piscataway: IEEE, 2016. s. 236-241. ISBN 978-1-4673-8605-0.

HOLÍK, J., M. DORDA, V. GRÁF a D. TEICHMANN. Roundabout capacity analysis based on cloud simulation in witness. In: *Proceedings of the 2017 18th International Carpathian Control Conference, ICC 2017*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. s. 204-209. ISBN 978-1-5090-4862-5.

HOLÍK, Jiří a Lenka LANDRYOVÁ. *Simulační model distribučního systému*. Ověřená technologie. Ostrava, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012.

HOLÍK, Jiří a Lenka LANDRYOVÁ. *Simulační model pracoviště hotovního soustružení*. Ověřená technologie. Ostrava, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011.

HOLÍK, Jiří. *Modulové řešení simulace jízd dopravních prostředků s možností optimalizace*. Konference WITNESS 2012.

HOLÍK, Jiří a Kryštof WALICA. Simulace expedičních skladů tažírny tyčí ve Starém Městě u Uherského Hradiště. In *WITNESS 2013* [electronicky zdroj]. Sborník příspěvků. 16. ročník konference. Blansko, 30. - 31. května 2013. Ostrava: Dynamic Future s.r.o., 2013. ISBN 978-80-214-4752-3.

HOLÍK, J. *Optimalizace manipulačních procesů s využitím SW Witness*. Presentace výsledků řešení na workshopu "Chcete úspěšně optimalizovat své procesy". 19.9.2012 Top hotel Praha. Přednáška pro uživatele, kteří ve strojírenské praxi využívají SW Witness.

HOLÍK, J. *Optimalizace manipulačních procesů ve společnosti Procter&Gamble*. Konference Logistika v praxi. 11.-12.10.2013 Mikulov, hotel Eliška. Presentace pro uživatele SW Witness ze strojírenské a výrobně dopravní praxe s cílem vysvětlit princip metodiky pohybu vozíků v simulačním modelu.

13 Seznam příloh

Příloha 1	Simulační model SHO s nekonečnou délkou fronty vytvořený v SW Witness 21 Horizon
Příloha 2	Konfigurační soubor pro model SHO s nekonečnou délkou fronty vytvořený v MS Excel
Příloha 3	Simulační model pro řešení komplexní úlohy systému výrobní a zásobovací logistiky vytvořený v SW Witness 21 Horizon
Příloha 4	Vstupní konfigurační soubor modelu
Příloha 5	Soubor pro zpracování výsledků simulace